Labour Canada
Travail Canada

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

Canada

84-3824/2

GRAIN INDUSTRY

DUST EXPLOSIONS AND FIRES

Occupational Safety and Health Branch
Labour Canada

Published by Authority of the Minister of Labour,
Government of Canada

Également disponible en français sous le titre:

Explosions et incendies dus à la poussière de grain

Additional copies of the publication may be obtained from

Publications Distribution Centre
Labour Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0J2
(819) 994-0543

Labour Canada Catalogue Number
L46-1368/84E

© Minister of Supply and Services Canada 1984

Cat. No. L 31-50/1984E

ISBN 0-662-13139-8

Printed in Canada

PREFACE

This document discusses many factors associated with the causes and the prevention of grain dust explosions and fires. It is based on the experience of such accidents in 13 countries. The document is not intended to provide a detailed analysis of the data, but rather to provide a broad overview.

The concise presentation of data, charts and brief descriptions of the preventive measures and design features required to reduce the number of accidents will hopefully aid the grain industry in becoming more aware of the extent of the problem and the identification of control measures. The information is also prepared for reference purposes for individuals, unions and government agencies.

The contribution of the countries, Australia, Belgium, England, France, Germany (West), Japan, Netherlands, USSR, Sweden, U.S.A.; and Canadian Grain Commission and Canadian Western Grain Elevator Association is gratefully acknowledged.

TABLE OF CONTENTS

		Page
1.	INTRODUCTION	1
1.1	Background and Purpose of Study	1
1.2	Methodology	2
1.3	Delimitation	2
1.4	General Review	2
1.5	Canadian Situation	3
1.6	Preventive Measures for Explosions and Fires	4
1.7	Design Features	6
2.	GRAIN DUST EXPLOSION AND FIRE EXPERIENCES AND PREVENTIVE MEASURES, DESIGN FEATURES AND REGULATIONS REPORTED BY THE COUNTRIES	17
2.1.	AUSTRALIA	17
A.	Accidents	17
B.	Causes	17
C.	Preventive Measures	17
D.	Designed Safety Features	18
E.	Operating Practices	18
F.	Maintenance Activities	19
G.	Static Electricity Control	19
H.	Safety Officers and Safety Committees	19
I.	Interchange of Information	20
J.	Fire Suppression	20
2.2.	BELGIUM	20
A.	Accidents	20
B.	Preventive Measures	20
C.	Fire Fighting Equipment	20
D.	Elevator Design	21
E.	Special Safety Devices	21
F.	Good Housekeeping	21
G.	No Hand Lamps	21
H.	No Smoking	21
I.	Maintenance Control	21
2.3.	FRANCE	22
A.	Accidents	22
B.	Preventive Measures (Explosion)	22
2.4.	JAPAN	24
A.	Accidents - Explosions	24
B.	Preventive Measures	24
a)	Dust Control	24
b)	Controlling Fire Ignition Sources	25

Page

2.5. NETHERLANDS 27

A. Accidents 27
B. Preventive Measures 33
C. Measures to Remove Dust 34
D. The Occurence of Sources of Ignition Outside the Equipment 34
a) Welding and Cutting 34
b) Hand Lamp 36
c) Open Fire 36
d) Friction 36
e) Mechanical Spark 37
f) Static Electricity 37
g) Foreign Material 38
E. The Prevention of Sources of Ignition in and by the Equipment 39
a) Bucket Elevator 39
b) Grinding and Milling Apparatus 39
c) Dust Filter-Exhaust System 39
d) Direct-fired Furnaces 40
e) Ventilating System 40
f) Conveyor Screw 40
g) Lighting 40
h) Electric Installation 41
i) Cleaner 41
F. Measures to Reduce the Effect or the Exension of a Dust Explosion 41
G. Fire 42

2.6. SOUTH AFRICA 43

A. Accidents 43
B. Preventive Measures 43

2.7. SWEDEN 44

A. Accidents 44
B. Preventive Measures Against Grain Dust Explosion 44

2.8. USSR 46

A. Accidents 46
B. Preventive Measures 46

2.9. UNITED KINGDOM 48

A. Explosion Accident Experience 48
B. The Application of Precautions 49
C. Legal Requirements 50
D. Health Hazards 50
E. Preventive Measures 51
a) Minimizing Cloud Formation 51

Page

b) Containment 51
c) Separation of Units 51
d) Relief Venting 52
e) Inerting 52
f) Automatic Suppression 53
F. Fires in Dust 55

2.10. U.S.A. 58

A. Accidents 58
B. Prevention and Control of Grain Elevator Explosions 63
C. Other Approaches to Explosion Protection 67
a) Inert Atmospheres 67
b) Explosion Suppression 67
c) Polyvinyl Chloride Components 68
d) Dust Control 68
e) Implementation and Enforcement of Preventive Measures 69

3. TABLES

1. Countries and Their Dust Explosion Cases 2
2. Major Primary Sources of Ignition, Materials, Machines and Industries Involved in Explosion (1860-1979) 3
3. Reported Causes of Explosions and Fires 7
4. Type of Industries Involved in Explosions (1860-1979) ... 8
5. Reported Causes by Years, All Countries Reporting (1860-1979) 9
6. Machines or Parts at Primary Ignition (1860-1979) 10
7. Materials Handled When Explosions Occurred (1860-1979) .. 12
8. Western Canadian Primary Elevator Fires and Reported Causes (1970-1979) 15
9. Ten-Year Fire Loss Experience 16
10. Dust Explosion Accidents by Cause of Ignition (1962-1975), Japan 25
11. Explosion Accidents (1964-1975), Japan 26
12. Source of Ignition, Netherlands 30
13. Equipment Involved, Netherlands 31
14. Statistics; Dust Explosions in the Netherlands 32
15. Number of Explosions by Type of Industry 32
16a) Data About Fodder Industry, 1979, Netherlands 33
b) Data About Grain-handling Industry, 1981, Netherlands ... 33
17. Accidents (Great Britain exlcusive of Northern Ireland) 1958-1977 49
18. Explosion Incidents in Grain Elevators and Feed Mills, 1958-1978, U.S.A. 59
19. Fires and Property Losses, U.S.A. 60

Page

4. CHARTS

1. Causes of Explosions and Fires 14
2. Percentage Distribution of Reported Sources of Ignition, Netherlands 28
3. Percentage Distribution of Equipment Involved in Explosions, 1971-1980, Netherlands 29
4. Ignition Source of Primary Explosion, etc., in Grain Elevators, U.S.A. 61
5. Ignition Source of Primary Explosion, etc., in Feed Mills, U.S.A. 62

5. REFERENCES 73

AN OVERVIEW OF DUST EXPLOSIONS AND FIRES IN THE GRAIN HANDLING INDUSTRY

1. INTRODUCTION

1.1 Background and Purpose of Study

Grain and flour dusts in suspension can form explosive clouds, and the dusts can ignite and propagate flame readily because the source of heat required is relatively small. In January 1980, in Montreal, a massive explosion ripped through eight silos and blew off the top of a 30-metre concrete grain elevator, killing one worker and injuring at least seven. The explosion tore off the top levels of the grain elevator, and rained debris down on a dozen railroad hoppers and boxcars parked on a nearby siding, causing extensive damage. It has been reported that sometimes the debris can travel in air as far as five kilometres. More recently, in April 1981, in Texas, one grain elevator exploded, killing three workers and injuring 33, when a series of explosions ripped through an elevator complex. Several hours later in Bellwood, Nebraska, a second grain elevator exploded, killing one worker and seriously injuring two others. Since the turn of the century, more than 1 100 explosions have occurred at grain handling facilities in the United States, killing nearly 500 people. Statistics on the dust explosions in the United States show that more than 50 per cent of all explosions of combustible dusts have occurred in grain elevators and flour mills. In Canada, statistics provided by the Canadian Grain Commission based on the claims for work injury compensation indicate that fires and explosions result in a work injury frequency rate ranking fourth or fifth among all federal departments and agencies, and indicate an increasing trend. Since 1976, in the United States, the number of explosions and fires in grain elevators has increased significantly. And yet, often the causes of these accidents have never been clearly identified even by experienced investigators.

The purpose of this document is to draw attention to certain important features of accidents by highlighting a variety of the statistics reported by the United States, several European countries and Japan; and to review their preventive programs. The Canadian milieu is reviewed in this context.

The countries and the number of explosions for different periods by the countries are as follows:

Table 1

Countries and Their Dust Explosion Cases

Countries	Cases (Explosion)
Australia	2
Belgium	1
Canada	40
England	5
France	1
Germany	10
Japan	23
Netherlands	59
Sweden	1
USSR	N/A
U.S.A.	465
TOTAL	607

Note that these figures are not the totals of all explosions that have actually happened but only of those reported to have happened. Explosions are grossly underreported due to lack of information, or due to inconsistent and decentralized reporting.

1.2 Methodology

The statistics have been synthesized, using a variety of source documents, the reports and letters from the countries to Labour Canada on their experiences and preventive measures and regulations regarding fire and the explosion. The number of cases of explosion used for statistical analysis is 579, as first reported by the countries, covering different periods of time, and 104 fire cases experienced by Western Canadian grain handling industries only over the period of 1970-1979. The number of fire accidents, however, does not account for all fires in the Canadian grain handling industries during the period.

1.3 Delimitation

The data collected in this report have definite limitations. They lack uniformity in defining certain variables between the countries. Particularly, information on the preventive measures and regulations used by the countries is not always available, and when available is not necessarily comprehensive.

1.4 General Review

As we shall notice in Table 2 there seems to be no significant difference between the countries with respect to the most frequently cited sources of ignition, types of industry, and the machines or parts

involved in the explosions. Historically, "Open Fire" was blamed most for the accidents during the period 1860-1900. After 1900 the most commonly cited cause was "Foreign Material". Since 1961, "Welding" and "Friction" have been reported most frequently as the causes. The machines and parts that were involved most often were "Grinding Apparatus" until 1960, and "Bucket Elevator" and "Hopper" after that. As to the industries, Canadian experience was almost congruent with the other countries, that is, "Storage", "Transhipment", "Compound Feed Mill", and "Flour Mill", in that order were the most common. Of the 33 types of material involved, milo, starch and flour were reported as being most susceptible to explosions. Japanese experience indicates that 30.4 per cent of the primary ignitions of the explosions induced fires.

Table 2

Major Primary Sources of Ignition,
Materials, Machines and Industries Involved in Explosion
(1860-1979)

Materials	Causes		Machines		Industries	
	Canada	Others*	Canada	Others*	Canada	Others*
milo	(No information available, 1860-1900)	open fire (1860-1900)	grinding apparatus	grinding apparatus	storage, transhipment	storage, transhipment
starch	foreign material (1901-1960)	foreign material (1901-1960)	hopper	bucket elevator	compound feed mill	compound feed mill
flour	friction (1961-1979)	welding (1961-1979)	elevator leg, bin mixer	hopper	flour mill	flour mill

*"Others" refers to those countries which communicated with Labour Canada.

1.5 Canadian Situation

As of August 1, 1977, licensed elevators in Canada numbered 3 821. Of the total, 3 739 were primaries, 25 terminals, 30 processes, and 27 transfers, with total estimated workers of 57 000. Since 1916 at least 40 incidents of dust explosions have been recorded in Canada. Canadian Western Grain Elevator Association reported that during the period of 1970-1979 there were 104 fires in the industries. The actual number may be higher since Canada has no well established registration of dust explosions or fires. What is available now are detailed reports of explosions resulting in injury and extensive property damage, but records of less significant incidents are incomplete. Records of insurance loss and of fires are available from insurance companies, inspection agencies, and provincial grain elevator associations. But these records do not provide sufficient details to determine the causes of primary sources of ignition or explosions or of fires, machines and parts, and materials

involved in the incidents. As mentioned earlier, there are no significant differences between Canada's experience and the experience of the other countries reporting in the causes, machines and parts, or types of industry involved in explosions. Mechanical failures, arson, lightning and open fire appear to be the main causes of fires (Table 3). Most of the fires (80.8 per cent) occurred outside working hours (Table 10).

The preventive measures taken or suggested by the countries and their design features are summarized as follows:

1.6 Preventive Measures for Explosions and Fires

- Good housekeeping practices should be observed;
- No machinery should be started without first starting the dust extractor;
- No dust should be allowed to return to the grain stream;
- Floors should be sloped so that trucks can roll out without having to start engines;
- No shelled corn should be put into a storage elevator before cleaning;
- Air humidity should be maintained at as high a level as is compatible with the preservation and handling processes;
- No lamp should be located in, or lowered down into, the hopper;
- No open fire or smoking should be permitted;
- Friction should be minimized; e.g., bearings ought to be lubricated with the prescribed grease;
- Axles of the various machines ought to be aligned correctly;
- Ropes should be made of anti-static material;
- Conveyor screws and chain transporters should not operate in unloaded condition;
- A slippage indicator should be attached to bucket elevators;
- Mechanical spark and static electricity should be controlled;
- Magnetic or electromagnetic separators of steel objects should be used to control foreign material in the first row of roller, hammer or other milling;
- There should be a dust filter exhaust system;
- Driers should always be monitored through use of automatic temperature regulators or thermostats that automatically cut off the heat supply;

- It is necessary to have an effective ventilation system;

- All sources of light ought to be dust-tight;

- All electric installations should be kept dust-free by housing them in dust-tight devices;

- Power-operated tools must not be used in a dusty environment;

- Water should be kept out of the silo top, to eliminate the hazard of pipes bursting in the winter;

- Personnel should be present throughout the relevant parts of the terminal when conveyors and machinery are running;

- Compressed air should only be used to blow down dust when there is no other feasible means of removing that dust;

- Dust should be put in bins placed outside of the processing rooms and silo bins;

- Investigation of explosions has revealed that the more elevator volumes connected, the more destruction may occur. For this reason, the division of existing elevator volumes into a number of isolated volumes may be necessary;

- Dust accumulations should be minimized by the use of smooth-surfaced walls and floors;

- The use of aluminum, magnesium and similar light metal paints should be avoided in the elevator;

- Metal objects should never be lowered into bins;

- Battery-operated lamps, instead of electrical lamps on leads, should be used for inspecting bins;

- Proper alignment and maintenance of belt drives must be assured; V-belts should be avoided where possible;

- Proper fire extinguishers, automatic detectors, alarm systems and sprinkler installations should be present;

- When a dust cloud becomes ignited, the flame initially moves relatively slowly, and the incipient rise in pressure can be detected rapidly. At this point, suppression agent should automatically be injected into the volume to quench the flame;

- There should be a means of localizing explosions in the smallest possible volume of the building with the aim of preventing explosion propagation;

- Sieve separators should be used for detecting grain;

- To minimize repair work inside elevator buildings, facilities should be provided for disassembling of bearing members, spouts, and protective casings.

1.7 Design Features

- Elevator legs must be constructed of non-combustible material, dust-tight, provided with sample inspection and maintenance access, and driven by individual motors, and drives of optimum size

- All machines must have individual connections to the power source and must not run idle

- Dust collection systems must be installed at all dust producing points

- Machines and conveyors must be grounded

- The cover of the hopper should be constructed from as lightweight material as possible, as should be the roof over it. If a dust explosion occurs, the cover and possibly the roof can then be flung off and away

- Mount dry filters with housings in a separate room. This room ought to be constructed in such a way that in the event of an explosion, the outer wall can be flung away and the explosion can not move through the machinery building

- Automatic valves should be arranged in the openings of fire proof walls

- Conveyor and elevator drive pulleys are rubber lagged

- Laggings are vulcanized to the pulley and provided with chevron grooving

- A special responsive switch should be connected to a pulley driven by the belt thus detecting any appreciable slippage of conveyor belts on drive pulleys

- Vulcanizing is adopted instead of metal belt joiners

- Statutory requirements for building, machinery, safety and electrical installation are applied for construction of grain silos and terminals

- Non-flammable materials are used for building enclosures and galleries in grain handling areas, and these enclosures and galleries should be designed for pressure relief, venting with light wall cladding panels which would blow out in the unlikely event of an explosion

Table 3

Reported Causes of Explosions and Fires*

Causes	Explosions (1860-1979)		Fires (1970-1979)	
	Frequency	%	Frequency	%
Unknown	259	44.7	24	23.1
Foreign Material	94	16.2	-	-
Mechanical	-	0	16	15.4
Friction or Plug up	47	8.1	6	5.8
Arson	-	-	15	14.4
Welding	42	7.3	1	1.0
Open Fire or Smoking	26	4.5	12	11.5
Electric Spark	23	4.0	-	-
High Temperature	20	3.5	-	-
Mechanical Spark	18	3.1	-	-
Fire	17	2.9	-	-
Spontaneous Heat	11	1.9	3	2.9
Static Electricity	9	1.6	8	7.7
Trespassers	-	-	2	1.9
Heating Equipment	-	-	2	1.9
Lamp	9	1.6	-	-
Lightning	4	0.7	14	13.5
During Cut-off	-	-	1	1.0
TOTAL	579**		104	

*Based on Report No. 2 of the Fire and Explosion Task Force, Western Grain Elevator Association, Western Primary Elevator, November 1980, 759-167 Lombard Ave., Winnipeg, Manitoba.

**Some cases were not included due to lack of information.

Table 4

Types of Industry Involved in Explosions,
All Countries Reporting
(1860-1979)

Industries	1860-1900	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1979	N/A	Total
N/A							1	12	18	2	33
Flour Mill	18	16	25	15	9	16	4	3	1	7	114
Storage, Transhipment	2	5	26	43	62	40	19	1	6		204
Compound Feed Mill		9	16	37	22	20	21	16	12	2	155
Starch Factory	2	11	8	7	5	5	14	2	2	6	62
Seeds and Pulses					1	4	1				6
Sugar Mill							2	1			3
Soya Mill							1				1
Brewery									1		1
TOTAL	22	41	75	102	99	85	63	35	40	17	579

Table 5

Reported Causes by Years, All Countries Reporting
(1860-1979)

Causes	1860-1900	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1979	N/A	Total
Unknown	3	25	42	58	39	51	24	8	9	1	260
Welding					1	1	6	15	11	8	42
Lamp			1	1	2		1	2	1	1	9
Open Fire	15	1	6	1	1	1				1	26
Mechanical Spark	1	1	4	2	4	2	2	2			18
Fire	1		1	3	4	4	2			1	16
Lightning	1			2					1		4
Friction	1	3	8	5	11	4	2	5	8		47
Foreign Material		10	7	22	32	8	13			2	94
High Temperature		1		3	1	7	6	1		1	20
Electric Spark			4	5	3	3	3	2	2	1	23
Static Electricity			2		1	4	4		1	1	13
Spontaneous Heat									7		7
TOTAL	22	41	75	102	99	85	63	35	40	17	579

Table 6

Machines or Parts at Primary Ignition
(1860-1979)

Machines or Parts	1860-1900	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1979	N/A	Total	Per Cent of Total
Lighting	13		2	2		2					19	3.3
Grinding Apparatus	2	8	13	15	13	7	9	4	1	3	75	13.0
Bucket Elevator		2	6	2	8	1	6	9	5	3	42	7.3
Hopper		2	1	1	3	6	9	4	5	4	35	6.0
Conveyor Screw		2	1	3				1	3	1	11	1.9
Drier		1		3		2	6	2	3	1	18	3.1
Ventilator			1	1	2	2	2				8	1.4
Electric Installation			1	1		2	2	1		1	8	1.4
Peeler				1							1	0.2
Mixer				1		1	2		2	2	8	1.4
Electrometer				1					1		2	0.3
Converter					1						1	0.2
Dust Filter					1	4		3	2		10	1.7
Cleaner					1						1	0.2
Rheostat					1						1	0.2
Electric Motor						3					3	0.5
Welding Rectifier						1					1	0.2
Oilburner						1					1	0.2
Cyclone						1				1	2	0.3
Silo							1				1	0.2
Toaster							1				1	0.2

Table 6 (continued)

Machines or Parts	1860-1900	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1979	N/A	Total	Per Cent of Total
Bearing							1				1	0.2
Spout								1	1		2	0.3
Extraction								1			1	0.2
Chute								1	1	1	3	0.5
Bin								1	5		6	1.0
Receiving Leg									1		1	0.2
Elevator Leg									2		2	0.3
Unknown	7	26	50	71	69	52	24	7	8		314	54.2
TOTAL	22	41	75	102	99	85	63	35	40	17	579	

Table 7

Materials Handled When Explosions Occurred
(1860-1979)

Material	Frequency	Percent
Unknown	470	81.2
Flour	9	1.6
Barley	2	0.3
Compound Feed	3	0.5
Oats	3	0.5
Sugar	3	0.5
Gelatinized Starch	1	0.2
Cotton Seed	1	0.2
Maize	5	0.9
Milk Powder	2	0.3
Antioxidant	1	0.2
Starch	11	1.9
Dextrin	1	0.2
Maize Gluten	1	0.2
Rye	1	0.2
Milk Replacer	1	0.2
Wheat	4	0.7
Soya Beans	3	0.5
Wheat Offals	1	0.2
Maize Oil Flour	2	0.3
Ground Nuts	2	0.3
Beans, Peas	2	0.3
Cottonseed Flour	1	0.2

Table 7 (continued)

Material	Frequency	Percent
Linseed Flour	5	0.9
Rice Grinding Dust	1	0.2
Pet Food	1	0.2
Soya Bean Expellers	5	0.9
Pig Feed	1	0.2
Malt Expellers	1	0.2
Sunflower	4	0.7
Feed Grain	1	0.2
Copra	3	0.5
Corn	1	0.2
Milo	26	4.5
TOTAL	579	

CHART 1

CAUSES OF EXPLOSIONS AND FIRES

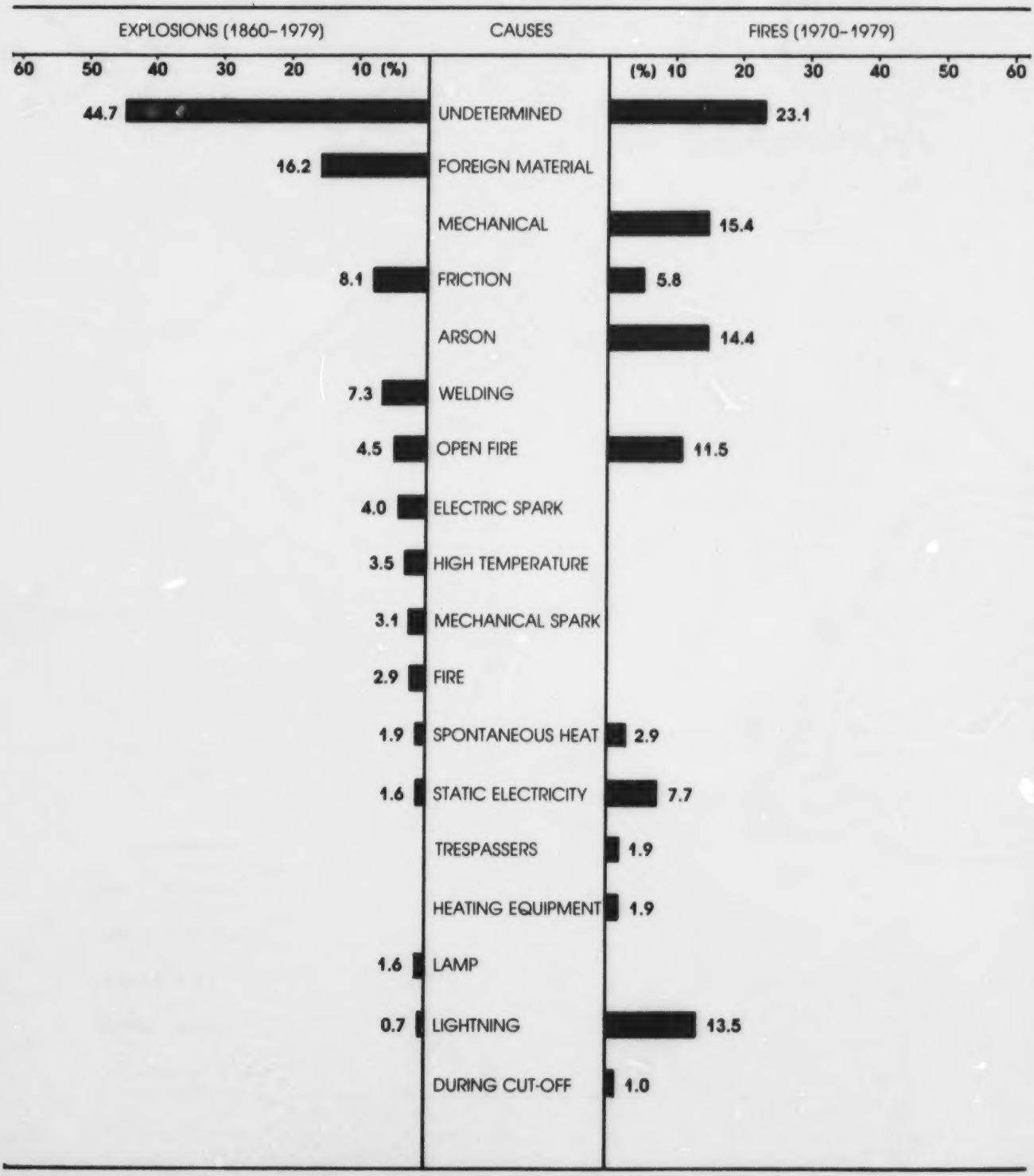


Table 8

Western Canadian Primary Elevator Fires and Reported Causes[1]
(1970-1979)

Year	Mechanical	Plug-up or Friction	Arson	Welding	Exposure to Open Fire or Smoking*	Spontaneous Combustion	Static Electricity	Trespassers	Heating Equipment	Lightning
1970			2				1			1
1971		1	2		1		1			1
1972	1	2	2		1		1			1
1973	4	1	1		1			1		3
1974	2	1	2			1	1		1	1
1975		1					1		1	2
1976	3		3		2			1		3
1977	2		3		2	1	1			
1978	2				4*	1				
1979	2			1	1		2			2
TOTAL	16	6	15	1	12	3	8	2	2	14

[1]Source: Western Grain Elevator Association, Western Primary Elevator, Fire and Explosion Task Force, Report No. 2 November, 1980.

*Includes Careless Smoking.

Table 9

Ten-Year Fire Loss Experience*

	Number of Losses	%
Time of Loss		
Office Hours (8:00 a.m.-5:00 p.m.)	14	13.5
After Hours	84	80.8
Unknown	6	5.8
TOTAL	104	
Age of Operator--Years		
18-25	12	11.5
26-35	22	21.2
36-45	10	9.6
46-55	19	18.3
55-up	10	9.6
Unknown	31	29.8
TOTAL	104	
Experience of Operators--Years		
0-5	23	22.1
6-10	17	16.4
11-15	6	5.8
16-20	10	9.6
20-up	18	17.3
Unknown	30	28.9
TOTAL	104	

*Based on Report No. 2 of the Fire and Explosion Task Force, Western Grain Elevator Association, Western Primary Elevator, November 1980, 759-167 Lombard Ave., Winnipeg, Manitoba.

2. GRAIN DUST EXPLOSION AND FIRE EXPERIENCES AND PREVENTIVE MEASURES, DESIGN FEATURES AND REGULATIONS REPORTED BY THE COUNTRIES

In the following pages the letters and reports from the countries are summarized in alphabetical order.

2.1 AUSTRALIA

There were about 21 port terminals and 930 country silos in 1978.

A. Accidents

Since 1918 there have been no more than six fires and only two explosions of note at small country installations. Maintenance staff attempted to clear quickly a grain choke in an elevator boot at one installation and used oxyacetylene equipment. It was believed that the dust inside the elevator exploded. The maintenance staff were burned and the elevator was damaged.

At the second country installation contractors were seal welding an elevator casing. It was believed that dust residue inside the casing exploded. The contract personnel were not injured.

B. Causes

Actual causes of the explosions reported:

- use of oxyacetylene equipment,
- welding.

Potential major causes of explosions reported:

- ignition source,
- low humidity,
- bad housekeeping with dust lying about the plant,
- flammable dust in air at or above the lower explosive limit,
- metal cutting.

C. Preventive Measures

The abiding concern of the Australian bulk grain handling authorities is to ensure the maximum of cleanliness. It is perhaps worth noting that all installations are washed down every year. Strict requirements are enforced for continual removal of surface dust from storages. They believe that this practice contributes very significantly to prevention of a build up of dust.

Some of their preventive measures are as follows:

- good housekeeping as mentioned above;
- dust is never returned to the grain stream;

- dust extraction, collector and dust plant;
- a fundamental feature of the grain conveying system within most Australian grain terminals is that the machinery cannot be started until the dust extraction system is operating;
- in the newer dust houses the floors have been sloped so that trucks can roll out of the facility without having to start their engines.

D. Designed Safety Features

- All conveyor and elevator drive pulleys are rubber lagged. In the case of the conveyors, the lagging is vulcanized to the pulley and provided with chevron grooving.

- The belt movement in grain terminals is monitored by a special response switch connected to a pulley driven by the belt, thus detecting any appreciable slippage of the main drive pulley. The slippage of conveyor belts on drive pulleys has been frequently cited as a contributing factor in grain dust explosions.

- Where splicing of conveyor belts is necessary, vulcanizing is adopted. The other alternative, the use of metal belt joiners, is avoided because metal belt joiners cause sparks through contact with the idlers.

- Construction of grain silos and terminals is to comply with all statutory requirements for building, machinery, safety and electrical installation.

- Building enclosures and galleries in grain handling areas are invariably constructed of non-flammable materials and designed for pressure relief, venting with light wall cladding panels which would blow out in the unlikely event of an explosion.

E. Operating Practices

- Invariably ensure that some personnel are present throughout the relevant parts of the terminal when conveyors and machinery are running because neither terminals nor country silos are fitted with heat sensing devices to detect friction where slipping of belts occurs or overheating of bearings in elevators and conveyors.

- Compressed air should be used to blow down dust only when there is no other feasible means of removing the dust.

- No smoking.

F. Maintenance Activities

- Welding, soldering and cutting are strictly forbidden without prior advice to, and permission from, the Terminal or Silo (Elevator) Superintendent. The area where the work is to be carried out is thoroughly cleaned and damped down and an asbestos blanket and wet sacking are placed around below the location of the cut or weld. Welding or cutting is not performed if work for the day will cease within two hours.

- Regularly test the level of dust in and around bulk grain shipping terminals and major country silos.

G. Static Electricity Control

Static electricity, which is often regarded as one of the causes of dust explosions, arises because of the transfer of a static charge to isolated metallic conductors which are not grounded. However, for static electricity to pose a problem, four conditions must exist:

1. An effective means of static generation;

2. A means of accumulating separate charges and maintaining a suitable difference of electrical potential;

3. A spark discharge of adequate energy;

4. A spark must occur in an ignitable mixture.

Before a dangerous arc can occur, the static electricity must reach the required minimum voltage, which depends on the conditions prevailing at the time and is usually around 30 000 volts.

Charges are detected by the utilization of a nuclear source (H3 "Tritium"), a high resistance measuring element and /m703 Static Meter Gum. The voltage read on the unit is the potential difference between the object under test, and the tip of the meter with reference to ground, providing the operator is grounded.

The reading indicates both the voltage level and the polarity of the charged surface.

H. Safety Officers and Safety Committees

- Each of the bulk handling authorities in Australia employs a safety officer. In most cases, these officers are engaged completely in safety duties, and in providing safe working conditions as well as in the avoidance of grain dust explosions.

- These officers have all received formal training in safety.

- Safety Committee meets regularly and safety officer obtains a copy of the minutes of their meeting. The non-receipt of minutes of meetings is often a sign that the committee has become inactive.

I. Interchange of Information

In Australia, there has always been a considerable interchange of information between the bulk grain handling authorities in the various states on matters relating to safety. Recently, this spirit of co-operation was made even more manifest when the authorities jointly prepared a manual of codes of practice and safe operation procedures. This arose as a result of a request by a trade union for legislation on a number of safety measures. The bulk grain handling authorities were not in favour of legislation being imposed on the industry from without and were able to persuade the union to accept production of the manual as a compromise.

J. Fire Suppression

While heat sensing devices are generally not installed in the grain terminals, consideration has been given to using CO_2 gas as an extinguisher. As well as its extinguishing capabilities, CO_2 possesses cooling effects, and is inexpensive and easy to acquire.

2.2 BELGIUM

A. Accidents

There are no official statistics kept specifically on grain industry fires and explosions in Belgium. Fire departments' statistics do record such incidents. The only major incident involved a fire at Ghent some seven years ago without any known causes.

B. Preventive Measures

This information is based on the measures employed by one of the largest silos and elevators in Belgium. Some of the safety features are as follows:

- Dust control. The elevators are well equipped with dust removal appliances.

- Avoidance of heat build-up that would accompany deteriorating or poorly stored grains.

C. Fire Fighting Equipment

Annual inspection of premises and equipment:

- The company contracts with one of a number of firms approved by the Labour Ministry for such inspections. A copy of the company's report is submitted to the Port Safety Committee and remedial action is taken where appropriate.

D. Elevator Design

The elevators are designed with fire and explosion prevention in mind. The principal method is through dust control. The entire installation is equipped with a dust aspiration or vacuum-cleaning system. The system provides for dust to be separated and returned to the grain stream rather than expelled into the air. Instead of explosion relief venting, the company has panelling and glazing at one end of the installation, both of which could give way in the event of an explosion.

The other design features are:

- no water in the silo top, hence no bursting pipes in the winter; and

- an extended earthing system subject to annual inspection and lightning conducting system subject to twice yearly inspection.

One kilogram of CO_2 per cubic meter in each silo is required by the fire department, which involves the installation of a CO_2 reservoir outside of silos to cover the capacity of the silo.

The company has been considering a central tube inside each silo, with a reserve of sand in a container near the base. The sand is kept in the container by a type of membrane which is designed to burst if temperatures become dangerous.

E. Special Safety Devices

The silos are equipped with temperature and moisture monitoring systems which provide readings at several levels within the silos. Machinery and other equipment are only protected by thermostats, fuses and the like.

F. Good Housekeeping

The company hired four full-time cleaners.

G. No Hand-Lamps:

Special 24-volt flood lights are provided but remain outside the silo and can be wheeled up to top side manhole covers on mobile cradles.

H. No smoking

I. Maintenance Control

No machine maintenance is carried out while elevators are in operation. No welding, soldering or metal cutting can be carried out until the silo has been shut down. If there is a "leak", it is temporarily patched with rubber and a silicone adhesive.

2.3 FRANCE

A. Accidents

In the following we shall list only those fires and explosions experienced by two companies. No comprehensive statistics on the incidents in France are available at the present.

a. Fire at a port grain elevator

Property damage alone of 20 million francs; this estimate does not include stored goods lost in fire or damaged by water. No casualties, but helicopter rescue performed.

Cause of the fire

Heavy rainfall, causing a considerable seepage of petroleum might have favoured a pocket of inflammable liquid near the receiving hopper, and the pocket caught fire, either by heating or from a spark. The entire site is said to be impregnated with petroleum as a result of the repeated dumping of adjoining storage tanks that took place during the last World War.

Observations

Fire protection measures were disregarded during the elevator's planning and construction.

Permanent fire fighting equipment was non-existent.

The location was only 30 metres away from a large petroleum storage area.

There was no static water supply at the site. Furthermore, the closest fire hydrant was 400 metres away.

b. Explosion at a corn elevator in 1976

Damage amounted to 20 million francs, but fortunately there were no casualties.

Cause of the explosion

The excessive amount of dust given off through the conveyor, and unusually intensive operation of the elevator (eight times its capacity) were reported as the cause.

B. Preventive Measures (Explosion)

Shelled corn should never be put into a storage elevator before being cleaned. If necessary, a separate buffer elevator should be used before cleaning. The receiving area for the corn and buffer elevator should be designated.

The cleaning building and the dryer should be more than 15 metres away from the main elevator. The dryer should not join any other building or facility.

In places where dust settles or where it is likely to infiltrate in the form of airborne particles, all potential causes of ignition as described before must be carefully kept out. The dryer, in particular, should not be located where such a risk exists.

The dust should be removed at its source with specially designed equipment.

All the dust should be routed directly to a fireproof compartment located outside the buildings and not adjoining any of them.

In areas of the facility where such a dust removal system is not suitable as, for example, elevators, screw or conveyors, cleaning and grading mechanisms and the like, all equipment must be enclosed in airtight metal covers to prevent dust in the air from entering, and each unit must have a magnetic device built into it so that bits of metal capable of producing sparks on impact are caught before the grain enters.

Dust exhaust system is to be designed to ensure a sufficient air exchange volume to maintain the dust concentration level below the minimum explosive limit at all times.

All the equipment should be designed to permit easy cleaning of residual dust. Roughness should be eliminated by means of suitable coatings and points, rounded inside corners, etc.

The ground under the conveyor belts should be made easily accessible, and should be such that it can be hosed down, or else washed by a constant stream of water during handling, covered with water or profusely soaked.

Maintaining the highest air humidity level that is compatible with the preservation, handling and use of the grain would further reduce the danger by raising the ignition temperature a little and by helping to eliminate electrostatic charges.

Expansion devices such as hatches, movable shutters and ruptured membranes should be provided to eliminate excessive air pressure created by possible explosions.

Lightning rods should be installed.

All wiring must conform fully to Union technique de l'électricité. Operations should be suspended when maintenance work is being done and during any alterations to the facility.

2.4 JAPAN

A. Accidents - Explosions (1962-1975)

Because Japan is a small, overpopulated country, an explosion accident in an urban district or at a port causes damage not only to a grain elevator or a processing plant itself, but also to surrounding buildings and even to people around. For the last several years, two to three dust explosion accidents occurred every year. This may be due to the great amount of grain dealt with in Japan. Most accidents occurred in the transportation process. In particular, at grain elevators, almost all accidents happened at transportation processes, such as elevators, conveyors and chutes. No accidents were initiated in dust collectors or separators. More than a half of all accidents were caused by sparks or melted particles in welding or cutting with torches in repairing. Fewer explosions than supposed were caused by electrostatic sparks. This may be due to the high humidity in Japan.

B. Preventive Measures

For most dusts, particularly agricultural dusts, it is almost impossible to use the rock dust or water which is used in coal mines to prevent dust explosions. Therefore, it is important to remove the causes of ignition. In Japan most caution has to be paid to welding and cutting works. It should be noted that the possibility of explosion accident is high not only when the elevator is out of full operation for some other trouble, but also at the beginning or the end of transportation in normal operation. In general, in order to prevent or reduce dust explosion accidents, it is recommended to reduce the oxygen concentration with inert gases, or to install a venting system properly.

Typical measures enforced at plant level in Japan for preventing grain dust explosion are as follows:

a. Dust control

Ducts are provided at the places where dust exists and bag-filter-dust-collectors are installed.

Machine rooms are constructed by steel-frame-slate board-finishing for easy sweeping.

Machine rooms are always swept because dust may accumulate so much, and ceilings, beams and walls are inspected and swept once a month.

b. Controlling fire ignition sources

Welding should not be done while machines are running. During welding, water is to be sprinkled around the area to prevent fire from spreading. Moreover the area around the welding flame is covered with some sheets of 2 inch anti-flaming sheet to protect inflammable substances against the fire.

No devices which may cause rubbing in conveyors and no electric lights other than explosion-proof electro types should be allowed.

Table 10

Dust Explosion Accidents by Cause of Ignition (1962-1975), Japan

Cause of Ignition	No. of Accidents	%
Welding, Cutting	12	52.3
Impact	3	13.0
Electrostatic	2	8.7
Friction	2	8.7
Spontaneous Combustion	2	8.7
Overheat in Dryer	1	4.3
Unknown	1	4.3
TOTAL	23	100

Table 11

Explosion Accidents (1964-1975), Japan

Year	Material	Place or Process Explosion Occurred	Cause of Ignition	Fatality	Injured	Fire Induced
1964	feed grain (bran)	bin	unknown	0	2	no
1965	wheat	grinding	impact	1	0	no
1965	feed grain (barley)	grinding	friction	0	0	yes
1966	feed grain	bucket elevator	welding	2	11	no
1966	feed grain	grinding	welding	0	1	no
1966	feed grain	bucket elevator	welding	0	2	no
1967	rice bran	oil extraction plant	welding	2	6	yes
1968	feed grain	chute	welding	0	2	no
1969	skim milk	dryer	welding	0	4	yes
1969	wheat	bucket elevator	welding	0	3	yes
1969	wheat	bin	electrostatic spark	0	0	no
1971	soybean	chute	welding	0	7	yes
1972	copra	bin	electrostatic spark	0	0	no
1972	cornstarch	dryer	spontaneous combustion	0	0	no
1972	cornstarch	dryer	overheated	0	0	no
1973	feed grain (maize)	bin	welding	1	0	no
1973	feed grain (milo)	bucket elevator	friction	0	1	yes
1974	sunflower seed	grinding	impact	0	4	no
1974	feed grain	dust pipe	welding	0	0	yes
1974	feed grain	bucket elevator	impact	0	1	no
1975	feed grain	bin	welding	0	1	no
1975	soybean	dryer	spontaneous combustion	1	0	no
1975	rice bran	bucket elevator	cutting with torch	1	2	no
TOTAL				8	47	7

2.5 NETHERLANDS

The Dutch government claims that the safety measures in the country are generally superior to the standards of the American Occupational and Safety and Health Administration. In their experience, the human element is at the root of most industrial safety problems. In this regard, they hope eventually to eliminate casual and "grape-vine" training in the private grain handling industry, while admitting that the lack of training manuals is a serious problem. Aside from the ongoing process of educating management and labour, the inspectors pinpointed dust concentration and ignition sources as their major concerns.

A. Accidents

In the period 1971-1980, 59 cases of grain dust explosions were reported. In only 27 per cent of these cases the cause could not be identified, as compared to approximately 45 per cent unknown causes reported in other countries. This might indicate that in the course of time an ever-intensified search for the causes of a dust explosion was effective. As we shall notice from the following figures, the most important causes were welding and the use of hand lamp followed by friction and electrical spark. In the Netherlands the hopper and the bucket elevator are particularly hazardous, followed by the dust filter, the mixer, the drier and the conveying screw.

CHART 2

PERCENTAGE DISTRIBUTION OF REPORTED SOURCES OF IGNITION, NETHERLANDS

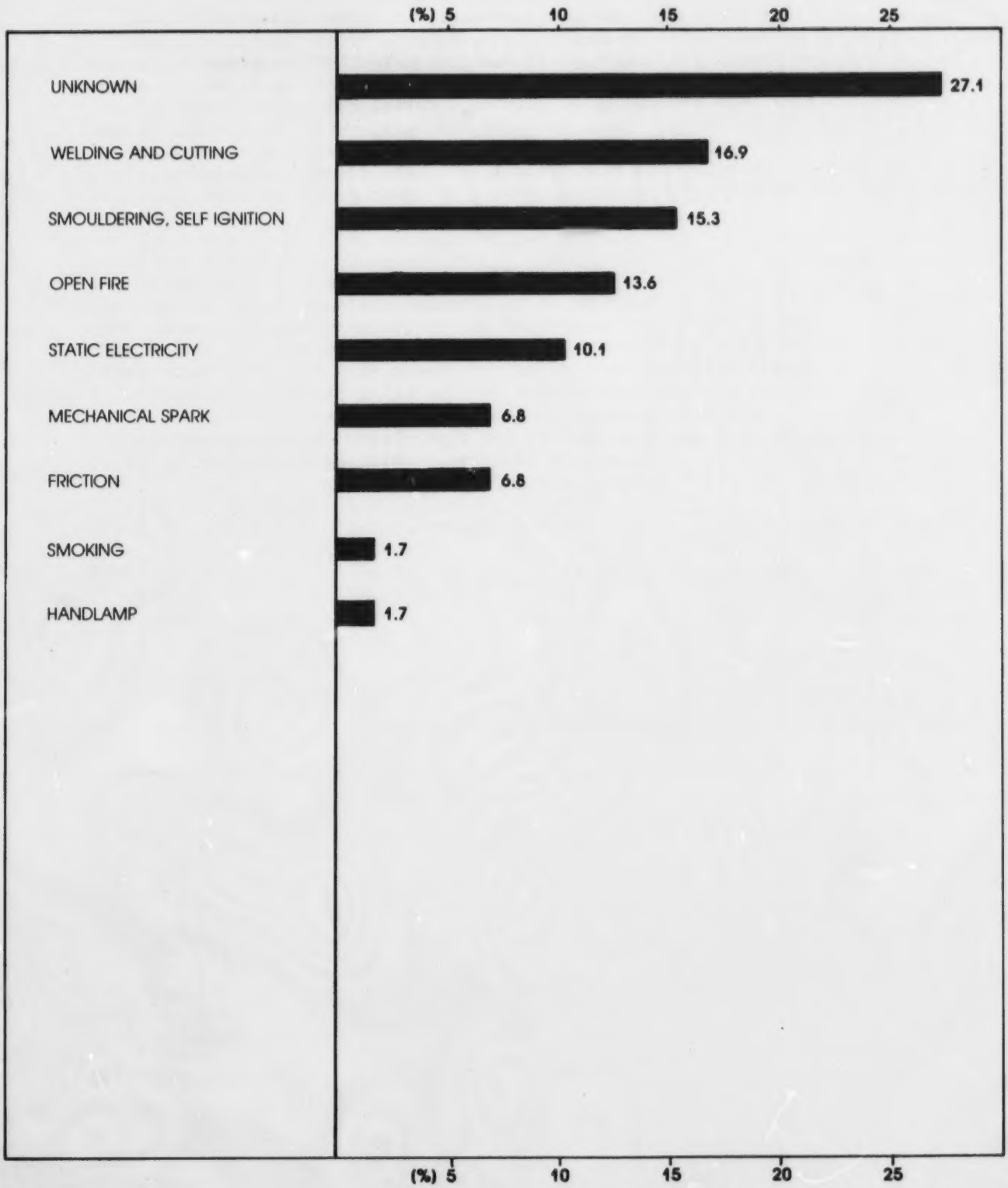


CHART 3

PERCENTAGE DISTRIBUTION OF EQUIPMENT INVOLVED IN THE EXPLOSIONS, 1971-1980, NETHERLANDS

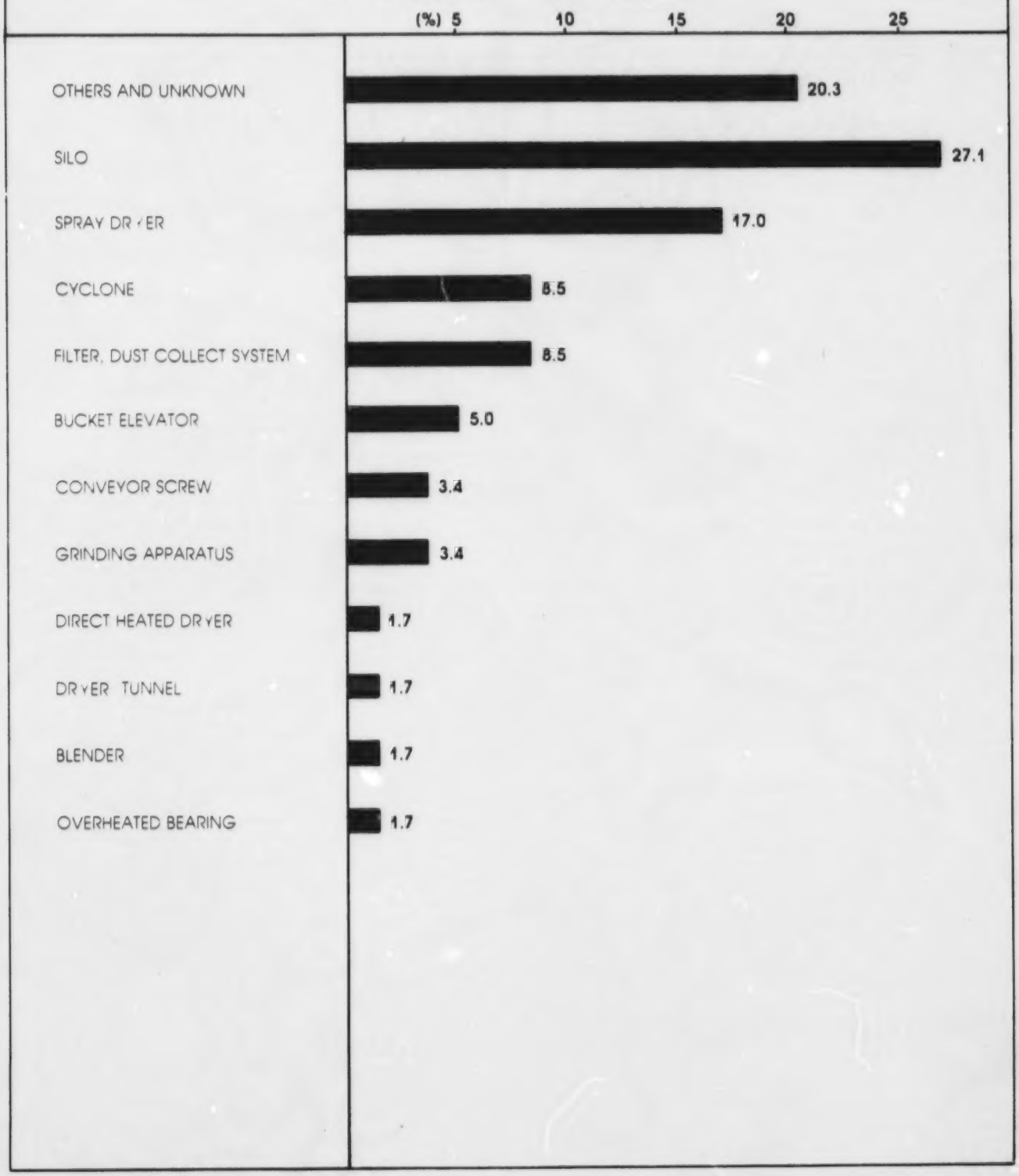


Table 12

Source of Ignition*, Netherlands

Sources of Ignition	No. of Explosions	Percentage
Welding and Cutting	10	16.9
Smouldering, Self-ignition	9	15.3
Open Fire	8	13.6
Static Electricity	6	10.1
Mechanical Spark	4	6.8
Friction	4	6.8
Smoking	1	1.7
Handlamp	1	1.7
Unknown	16	27.1
TOTAL	59	100.

*prins maurits laboratorium tno.

Table 13

Equipment Involved*, Netherlands

Equipment Involved	No. of Explosions	Percentage
Silo	16	27.1
Spray Drier	10	17
Cyclone	5	8.5
Filter, Dust Collect System	5	8.5
Bucket Elevator	3	5.0
Conveyor Screw	2	3.4
Grinding Apparatus	2	3.4
Direct Heated Drier	1	1.7
Drier Tunnel	1	1.7
Blender	1	1.7
Overheated Bearing	1	1.7
Others and Unknown	12	20.3
TOTAL	59	100.

*prins maurits laboratorium tno.

Table 14

Statistics: Dust Explosions (1971-1980) in the Netherlands

Year	Total No. of Dust Explosions	TYPE OF INDUSTRY					
		Dairy	Fodder Producing	Starch	Grain Handling	Wood	Others
1971	1			1			
1972	3		1	1	1		
1973	8		3	2		3	
1974	4	1	1			2	
1975	2				1	1	
1976	9		1		1	3	4
1977	8	1		3	1	1	2
1978	10	2	1		1	4	2
1979	4	1					3
1980	10	2	2			5	1

*prins maurits laboratorium tno.

Table 15

Number of Explosions By Type of Industry*

Type of Industry	Total No. of Explosions Over 1971-1980	Percentage
Dairy	7	11.9
Fodder Producing	9	15.2
Starch	7	11.9
Grain Handling	5	8.5
Wood	19	32.2
Others	12	20.3
TOTAL	59	100.

*prins maurits laboratorium tno.

Table 16(a)

Data About Fodder Industry, 1979*, Netherlands

	No. of Workers Per Elevator		
	10-49	50	Total No.
No. of Elevators	146	56	202
No. of Workers	2 946	8 732	11 678

Table 16(b)

Data About Grain-handling Industry, 1981, Netherlands

Total No. of Grain-elevators (concrete)	11**
Total No. of Workers	unknown

*Only the larger import-elevators have been taken into account.

**prins maurits laboratorium tno.

B. Preventive Measures

- making all connections, inspection doors, slides and the like as dust-tight as possible and keeping them dust-tight, too, via an adequate maintenance scheme;
- where possible operating the equipment at a slight underpressure, so that no dust can escape from the inside to the outside;
- when enveloping the devices concerned, such as dumping hoppers in their housing or jacket, a slight underpressure should be provided for.

As regards the equipment the following can be remarked:

- It is desirable that hoppers and bunkers be closed so as to prevent the dust from escaping.
- With direct-fired driers it is important that the operations in the drying-room be restricted to filling and discharging.
- Starch, preferably, will be dumped under hoods of non-flammable material, which are sucked off so that as little dust as possible escapes.
- With driers it is important that the air-inlet be provided with a sieve so as to prevent husks, chaff, and the like from getting inside.

- Driers with direct heating shall be used only if the air required for the combustion passes through a filter.

- When designing driers, piping, etc., it must be taken into consideration that as little dust as possible should deposit on the structure.

- To prevent dust depositing outside a conveyor screw, it is important that it be accommodated in a well-closed jacket or housing.

- It is advisable to suck off cleaners and point removers (e.g., for oats) if they are not dust-tight.

C. Measures to Remove Dust

First and foremost every industry in this sector should have an adequate program for cleaning. It is important to regularly remove dust on floors and other surfaces during work. For this purpose use can be made of vacuum cleaners or a fixed vacuum cleaning system with hoses. In both cases, the suction chosen should be conductive and earthed via the suction system so as to prevent it from charging electrostatically. It is advisable to check the resistance of the hoses periodically. If a movable vacuum cleaner is used, it should be suitable for operation in a dusty environment. The motor should be closed, if it gives off sparks, so that it cannot form a source of ignition for the dust.

The dust should also be removed from places that are accessible with difficulty. The use of pressurized air for cleaning involves great risks. The dust is then not removed but whirled upward. In some cases, however, cleaning cannot be done otherwise. Sweeping with brooms must also be restricted as much as possible; they also whirl up dust. If it is necessary to use brooms for cleaning, then, preferably, soft ones should be used, as these whirl up less dust than hard brooms. In case of new constructions or modifications of an existing building, it is advisable to see that floors, ceilings, doors, and the like are smooth. Dust collectors should be installed at an isolated safe place.

D. The Occurrence of Sources of Ignition Outside the Equipment

In the following it is shown what measures can be taken to prevent, as much as possible, the occurrence of sources of ignition outside the equipment.

a) Welding and Cutting

A great number of dust explosions in the Netherlands were caused by welding. Therefore, we will stress that as much care as possible should be taken before, during and after welding.

- It is recommended that welding and cutting be implemented as much as possible in a workshop or another "non-explosion-dangerous" room.

- If welding or cutting in the machine building is unavoidable, it is recommended that these operations be allowed only after a written permit is issued by or in the name of the management.

This permit can state, among other items, the following:

- date of issue of the permit,
- place where the activities are carried out,
- date and time at which the activities are carried out,
- the nature of the activities,
- the safety measures,
- the name of the welder,
- the name of the supervisor.

The permit must in no case be of a general character and must be issued only when the functionary authorized to issue the permit has acquainted himself with the safety measures taken.
The safety measures specify:

- A certain period of time before welding is started, switch off the machines and devices in that section of the building where welding will be done.

- Clean thoroughly the machines at which welding operations will be carried out.

- Remove the dust within a radius of 10 m, as welding sparks may have a range of approximately 10 m.

- Remove inflammable material within this radius. Material that cannot be removed must be covered with fire-resistant blankets.

- Clean the floor of the storey below and wet both floors.

- In case of an automatic fire alarm installation, switch it off only at the location of the activities.

- During welding, do not switch off the sprinkler system, if present.

- Screen the sprinkler cap if welding will be done in its proximity.

It is important that during welding there be a man present with a fire extinguisher near the welder. Because of the welding goggles or welding mask, the welder has a limited field of vision, he is busy welding and, therefore, does not immediately observe the start of a fire. If there is the possibility that welding sparks will reach the stories above and below, fireguards with fire extinguishers should be present there too.

It is important to make a thorough inspection after the welding or cutting job. If welding sparks have landed in the dust, then it may

well take hours before a fire starts in it. Regular checks should be carried out for such a period of time that it is certain that there is no smouldering dust present any longer. The machines may be switched on only after the welded surfaces have cooled and an after check has been made.

Welding and cutting activities are often carried out by outside firms. Before they start work, they should possess the regulations in force at the appropriate factory.

This point must be normal practice, particularly if the outside firms work on the weekends. Then there should certainly be a fire duty guard who is employed by the firm.

b) Hand Lamp

Many of the dust explosions were caused by letting down a hand lamp into a hopper. Consequently, this must be advised against, as there is the risk of short-circuiting or ignition of dust by the hot lamp. Particularly risky is measuring the height of the material by letting the lamp down by the flex so far that it touches the material. Measurement can be done for example with a weighted rope in which knots have been made at every metre.

To illuminate hoppers internally, operators may use floodlights that have been mounted fixedly over the hopper or are running on rails; at any rate in such a manner that the lamp cannot fall down into the hopper. The cables of the lamp should be insulated adequately.

c) Open fire

In rooms where dust may be generated, no open fire must be allowed. At those places in the works where smoking may cause explosion risk, smoking should be prohibited.

d) Friction

By adequate maintenance and regular inspection the occurrence of friction can be prevented almost completely. In this respect the following items are important:

- Bearings ought to be lubricated with the prescribed grease.
- The axles of the various machines ought to be aligned correctly, to prevent bearings from overheating by friction.
- In case of devices being driven with the aid of V-ropes it should be ascertained that all V-ropes required are present. If one rope has to be replaced, all should be. This is in order to keep the tension of the ropes equal; the ropes should be made of anti-static material.

- Transport chains must not operate unloaded for any length of time.

  Bucket elevators and conveyors should be provided with slippage indicators, belt-lean indicators and abnormal running indicators.

- If a fire occurs in a hopper or bunker and it is to be emptied, it should be realized that a dust explosion may be generated if emptying generates much dust.

- As soon as a smell of smouldering is observed, the cause of which cannot be ascertained, the employees should immediately warn the foreman, so that the machines can be switched off until the cause has been found and the necessary measures have been taken.

e) Mechanical Spark

Before grinding is started it is desirable to remove the dust around the place where the work is to be done, to prevent the jet of sparks from landing in dust. As the jet of sparks goes in one direction, a spark screen can be used.

f) Static Electricity

To prevent electrostatic charges of metal parts, it is advisable to connect the metal parts with an electrical conductor and to ground them at one point. In this way spark discharge of the one part onto the other is prevented.

- It is desirable to check the grounding regularly, in particular after the construction has been completed, and after repairs.

- The grounding may be interrupted by plastic, by sealing of flange connections, films of greases, rust formation, contamination and the like.

- If static charges are formed on parts made of non-conductive material, such as driving ropes or rubber flaps, these parts can be replaced by anti-static rubber. Driving ropes and V-ropes can be provided with grounded cams.

- It is important that all metal objects in the proximity of non-conductive objects be grounded, otherwise induced charges on the metal object can become too high and hazardous.

- Static electricity should be removed by providing the elevators with grounded electric meters and other machines.

- The equipment for charging and discharging ought to be connected by an electric conductor and grounded. This includes the truck, bunker, connecting tube, motor, compressor, etc. It is important to ground the bulk truck before coupling to the tube. A chain

dragging behind the truck is not sufficient for grounding, as grounding quality depends on the humidity of the road surface.

The hoses ought to be reinforced, from coupling piece to coupling piece, so that they are conductive. It is advisable to check the resistance of the hoses periodically, especially after repairs.

- Various types of flour, in particular starch and starch products, can be charged electrostatically. This applies in general to types of flour that have an electric resistance of 10^9 Ohm or higher. Then the following measures can be taken to avoid the risk of electrostatic discharge:

  If the manufacturing process permits, do not dry the flour too far, and keep the air in the building sufficiently humid: When the relative humidity is raised to over 50 per cent; the discharge of the surfaces to a lower potential will proceed without damage; for this purpose use can be made of an air humidifier.

- In starch and dextrin factories it is important that the humidifier, if it is of metal, be well grounded. In particular when the charged powder is wetted, this quickly loses its charge at the wall of the equipment as a result of the increased conductivity. If the steel humidifier is not grounded, a high electric voltage at a great capacity can be obtained. To avoid this problem, wooden humidifiers are often utilized. In that case, strange as it seems, the water piping ought to be grounded.

g) Foreign Material

During transport or in fast-running machines, foreign material (stones, pieces of metal and the like) can give off sparks so that a glow fire is generated in the material to be processed. The glowing parts resulting from this process may ignite the dust present at another place (e.g., in the bunker), causing dust explosion. The following measures are of importance:

- Magnets to remove steel objects ought to be present for the first row of roller mills, for hammer mills and for other milling equipment;

- Magnets, permanent or electric, must be installed such that the material caught can adequately be removed;

- If electromagnets are used, the whole machine ought to be safeguarded against the falling out of action of the magnetic current, so the metal dropped by the magnet does not land in the machine, but is led to another place.

- If there is a great difference in density between the feed component and foreign material from which the component should be cleaned, a pneumatic separator can be used. A drawback of

this method is that the foreign material may be in touch with the dusty air, so that there may be dust explosion risk.

In modern starch factories stainless steel equipment and ducts are often used, while all bolts are also made of stainless steel. Loosened stainless steel bolts cannot be caught with a magnet. If it is powdered material a sieve can be used. For other materials (e.g., roller-dried materials in chipping form) a sieve cannot be applied. Then a pneumatic separator must be used.

E. The Prevention of Sources of Ignition in and by the Equipment

In most techniques in use in processing cereals and flour, much dust is generated in the equipment. This is part of the process and cannot be avoided. The only thing that can be done is to avoid as much as possible the ignition of the dust in the equipment. In the following, the measures to be taken to prevent the chief sources of ignition for the different machines and devices will be discussed.

a) Bucket Elevator

In both legs of an elevator much dust is generated by spillage from the buckets and by the flow of air in the legs. So here it is necessary to prevent the occurrence of a source of ignition.

In an elevator the most important source of ignition is friction, which results in a rise in temperature. The temperature can become so high that a fire can be produced, so that the dust generated explodes. Friction often occurs between the head pulley and the elevator belt, so that the belt can burn through and fall downward. Slipping of the elevator belt on the head pulley can be prevented by providing the elevator with an apparatus that stops the driving of the elevator if the belt is slowing down. For this purpose, e.g., a "speed watcher" can be mounted on the tail axle of the bucket elevator.

b) Grinding and Milling Apparatus

Grinding and milling equipment ought to be provided with magnetic separators, to ensure that no metal gets into the mills.

In particular, hammer mills ought to be inspected regularly and revised to prevent hammers or crusher plates from breaking as a result of wear. The debris might give off sparks and ignite the dust-air mixture.

c) Dust Filter-Exhaust System

The pipes of such an exhaust system ought to be well-grounded to prevent electrostatic charging. Flexible connections in the system ought to have a continuous earth connection, the resistance of which must not exceed 100 000 Ohms.

d) Direct-fired Furnaces

It is important to provide driers with equipment that prevents the material to be dried from glowing or burning during the process. This can, for example, be attained by application of automatic temperature regulators and/or thermostats that automatically cut off the heat supply in case of too high a temperature in the drier.

Driers, piping, etc., should be designed in such a way that the surface temperatures remain so low that deposited dust does not start glowing.

It is advisable to regularly inspect and purify driers in which oily material is normally dried. In fact, a slight layer of oil forms at the inner side of the drier and at elevated temperature this oil can easily ignite spontaneously.

It is desirable that the material coming from the driers be adequately cooled before it is stored in the hoppers. If the material is stored too hot, the change of spontaneous heating and self-ignition increases.

e) Ventilation System

If the product being processed tends to stick to the rotor and the housing, it is advisable to clean these parts periodically to prevent friction and a rise in temperature.

If axial ventilators are applied for a dust-air flow, they have to meet the requirements for a dust-explosion-hazardous environment.

It is advisable to cool the motors of an axial ventilator indirectly.

f) Conveyor Screw

It is not advisable to have conveyor screws and chain transporters operating in unloaded condition for a long time. The material left behind is then rubbed for some considerable time and, because of the increase in temperature, it can come to self-ignition.

g) Lighting

Sources of lighting ought to be dust-tight. This applies to filament lamps, fluorescent lamps and sodium vapour lamps.

Filament lamps and sodium vapour lamps without housings are dangerous, because dust can deposit on them and, owing to the high surface temperature of the lamps, the dust can start glowing. Fluorescent lamps ought to be covered, because, when started, induction sparks are generated that might ignite the dust-air mixture. This holds for sodium vapour lamps, too.

Filament lamps, and also sodium vapour lamps, may be mounted against a ceiling or wall if these consist of non-flammable material such as concrete or stone. Otherwise it is advisable to keep mountings a distance of at least 20 mm. from ceilings or walls.

h) Electric Installation

It is advisable to accommodate electric gear as much as possible in dust-free rooms, such as control rooms and cabinets or boxes. To keep them dust-free, they may be kept under over-pressure with filtered atmospheric air. If electric equipment must be present in dusty rooms, it is important to place it so that no dust can enter it; for this purpose the devices can be placed in a housing. The surface temperature of that housing ought to remain at such a low level that no deposited dust can start glowing.

When installing electric gear in explosion-hazardous rooms, standard NEN 1010 ought to be reckoned with. It is emphasized, however, that this standard concerns measures that have to be taken to prevent gas explosions. It does not apply straightaway to the prevention of dust explosions.

i) Cleaner

In the case of cleaners and pointers, metals must be caught, e.g., with the aid of magnets. Stones ought to be removed, too.

F. Measures to Reduce the Effect or the Extension of a Dust Explosion

The cover of the hopper ought to be constructed of as light material as possible, as ought the roof over it. If a dust explosion occurs, the cover and possibly the roof will be flung off and away.

It is desirable to mount dry filters with housings in a separate room. This room ought to be constructed so that, in the event of an explosion, the outer wall can be flung away and the explosion cannot move through the machine building.

Open filters without housings should preferably not be utilized. If they are damaged by an explosion pressure, the filter bursts open, so that a great amount of dust can be generated that can bring about a subsequent explosion by the flame front of the dust explosion.

It is better to suck off the machines separately rather than to make use of a central exhaust system. In case of a central system there is the risk that an explosion will continue in all directions as a result of the many connections.

G. Fire

It is essential that a continuing program be worked out for fire and explosion prevention, with co-operation between management and employees. The implementation of such a program should always be checked by a safety officer. It is advisable that the program comprise instruction for new employees in which their attention is drawn to the dangers, how they can avoid them, what measures they must take and how they should use the pertinent equipment, such as fire extinguishers. Regularly conducted brush-up courses on hazard prevention are advisable.

The temperature inside the grain elevator should be constantly checked by using the electronic thermometer attached to it; and the temperature of the running parts of the machine should be recorded on a temperature-indicating tape. Fire alarm, extinguisher, hydrants and hoses, etc., should be placed on every floor.

Fire fighting teams should be organized and carry out regular inspection and patrol.

It is important to check fire extinguishers and other precautionary measures periodically.

The staff should know where the fire extinguishers are. In case of a fire the following steps should be taken:

1. Switch off sections as soon as possible.

2. Avoid whirling up of dust as much as possible; therefore do not spray into dust with a concentrated water jet; if dust burns cover first with carbonic acid.

3. After extinguishing, check after an adequate period of time; to ensure complete extinguishing has occured.

4. Only switch sections on again if there is a firm conviction that all danger has gone.

2.6 SOUTH AFRICA

Grain production in South Africa is concentrated on a plateau, the Highveld, lying just south of the Tropic of Capricorn. There are about 200 grain elevators on the Highveld.

A. Accidents

We know of only three minor explosions: these took place in bucket elevators and were caused either by bearings running hot or by welding accidents. South Africa has been so free of dust accidents that the subject has not until now received particular attention.

B. Preventive Measures

Most of the elevators are modern in design. The typical elevators consist of free standing concrete bins 15 m in diameter with semi-hopper bottoms and reclaim tunnels. The workhouse is normally constructed of bins 7.5 m in diameter clad with sheeting. Gantries are now built with grating floors but many of the older elevators have fully enclosed gantries.

The elevators are essentially storage installations, i.e., they are seldom filled more than once during a harvesting season. Working spaces are well ventilated. Reclaim tunnels are equipped with high capacity extraction fans and consequently ambient atmospheric conditions are probably present in the workhouse spaces.

Maize and wheat are accepted straight from the combine harvesters and, while pre-cleaners are now commonly used, maize is still stored "dirty" in many elevators and cleaned on reclaim. Wheat has always been cleaned before delivery to the bins.

Intake capacities are relatively low - about 150 t/h per conveyor belt with matched bucket elevators and other machinery. Usually two or three sets of machinery are used providing capacities of from 300 to 450 t/h.

Conveyor belts are used far more than chain conveyors and to date only steel buckets have been used on bucket elevators; fibreglass buckets are now being considered.

2.7 SWEDEN

A. Accidents

The national Swedish Board of Occupational Safety and Health knows of only one dust explosion during elevator handling of grain and feed in Sweden during the past five years. This explosion, which occurred in a feed storage silo, did not cause any personal injuries. As far as the Board is able to assess, fire safety and electrical safety requirements are well catered to in agricultural buildings. Effective exhaustion devices are customarily installed for the handling and storage of grain. Probably, therefore, the lower explosion threshold is seldom exceeded. The dust contained in the exhausted mixture of air and dust is separated off in subsequent filters. Afterwards this fine grain dust is usually used in the manufacture of livestock feed.

Two large fires involving fatalities and extensive material damage have occurred in large silo facilities during the past few years. There have been several known instances of grain bins failing because they have been inadequately constructed, and fatalities have also occurred in this connection. The Board is currently represented in a study group which has been set up to deal with various problems, including those connected with dimensioning.

There have been several cases of farmer's lung in connection with the handling of mouldy grain. The most striking instance of this kind occurred at a school of agriculture, when an instructor and ten or more students were hospitalized. In another case the resultant lung damage was of such a kind as to demand artificial lung treatment.

Accidents of other kinds have occurred in the agricultural sector in connection with the storage and distribution of grain.

B. Preventive Measures Against Grain Dust Explosion

1. Elevators must be dust-proof or sufficiently enclosed to prevent dust escaping from them while they are in operation, or else they must be provided with efficient exhaust arrangements. Hoppers, etc., involving unnecessary accumulations of dust are to be avoided. Furthermore, an elevator must be positioned and enclosed in such a way as to minimize the transmission of dust between premises linked by the device. Enclosure should be carried out using non-flammable material or at least an anti-ignition covering.

2. Elevators must be provided with explosion venting areas. This requirement can be dispensed with, however, if the machine is designed to withstand the pressure of explosion, or if it is so positioned that a dust explosion will not be liable to injure personnel.

3. Elevators must be provided with suitably positioned cleaning and inspection hatches.

4. Elevators must be constructed and installed in such a way that they are readily accessible for purposes of maintenance, inspection and cleaning. They must be constantly supervised and they must be kept in good condition.

5. Elevators must be constructed and installed in such a way as to minimize the danger of an outbreak and of spread of fire.

6. Elevators must be fitted with a cut-out device positioned in such a way that they can easily be stopped if there is a danger of fire or explosion occurring. The main exit from a facility should also be fitted with a device for turning off all the machines, fans, etc., in the installation.

7. The accumulation of static electricity is to be prevented by connecting the conducting parts of the elevator tower equipotentially and grounding them with a cable or wire at least 16 mm^2 in cross-sectional area.

2.8 USSR

At present about 1 000 elevators are being operated all over the country.

A. Accidents

It is reported simply that "recent dust explosions in grain elevators causing serious health hazards and human losses attracted special attention of administrative and trade union organizations".

a) Causes

Ignition sources may be divided into two groups, "occasional" and "organized". Occasional ignitions include short circuits in wiring, self-ignition of different materials, overheating generated by friction of machine parts, lightning, discharge of static electricity, and impact of solid articles. Organized ignition sources are: electric and gas welding, electrical heaters, non-protected lamp fittings, smoking, use of torches and other causes. The second group of ignition sources constitutes 40 per cent of all causes. One of the most hazardous explosion causes in silo bins is self-ignition of products.

B. Preventive Measures

Reducing the explosions caused by the first group (occasional) may be achieved by means of a number of volumetric-planning designs; as follows:

- removing of a cable from the areas where explosions may occur;
- installation of an automatic signalling system recording heating of rubbed parts of machinery;
- arrangement of a lightning protection system;
- grounding of static electricity;
- usage of materials which do not generate sparks in the facilities when impacts are possible.

Elimination of the second group of causes may be achieved by training workers.

Investigations of explosions have revealed that the more elevator volumes are connected, the more destruction may occur.

To protect grain elevators from explosions and fires, organizational and technical measures provided by building standards and fire safety provisions are being taken. Structural parts of buildings should be of fireproof materials. Automatic valves should be arranged in the openings of fireproof walls for conveying belts.

To minimize repair work inside elevator buildings, facilities for disassembly of bearing members should be provided for spouts and protective casings. This will facilitate their delivery to a repair shop.

Welding is prohibited when the equipment to be welded is in operation.

Provision is made for introducing a system to warn operators of explosive conditions. The system will ensure the installation of sensors to control dust accumulations in processing rooms, heat sensors to detect potential ignition sources, regulation of temperature in separate parts of technological equipment, or sensors responding to the availability of carbon monoxide and signalling potential ignition or self-ignition of grain and dust deposits.

Dust should be stored in bins placed outside of processing rooms and silo bins.

Studies are under way on the possibility of dividing the elevator volume into a number of isolated volumes with independent releasing of blasts into the atmosphere.

Thus, measures for protecting grain elevators from dust explosions have the following features:

- Design of effective explosion-discharge installations in machinery and equipment;
- An aspiration system against dust in workplace facilities;
- Measures to localize explosions in the smallest possible volume of the building;
- Sieve separators to separate dust from grain when it freely falls into different bins and silo bins.

2.9 UNITED KINGDOM

The table below indicates the scale of grain handling and distribution in the United Kingdom in millions of tonnes.

	Imported Grain	Home Grown Grain
1976/77	8.9	10.9
1975/76	8.4	11.6
1974/75	7.1	13.1

Each 12-month period commences at July. The largest grain storage installation in the United Kingdom has a capacity of 180 000 tonnes.

a) Explosion Accident Experience
(Information about Northern Ireland is not included.)

According to the records for the years 1958-1977 there has been only one explosion in this country in premises solely concerned with grain handling and storage; this was a bucket elevator explosion in 1959 caused apparently by a lead lamp getting into the bucket elevator; there was no silo or secondary explosion in this incident and, it would seem, no injuries.

During the same 20-year period there were nine explosions and three fires in grain handling equipment at other premises. In only one of these, a maltings, was a secondary dust explosion produced by a fire and there were no silo explosions at any of the premises. Four of the explosions occurred in food mills, two in distilleries and one in a flour mill; two of the fires were in feed mills and the other was in a maltings (which was not the one which suffered an explosion).

The maltings explosion injured two men; two of the other explosions, one in a distillery the other in a feed mill, were caused by welding on bucket elevators and injured five men; there were no injuries or fatalities in the other explosions or fires.

Table 17

Accidents (Great Britain, exclusive of Northern Ireland) 1958-1977

Explosion or Fire	Frequency	Place or Process	Cause	Fatality	Injured
Explosion	1	grain handling or storage	lead lamp	0	0
Explosion	4	feed mills	one explosion caused by welding	0)))	5
Explosion	2	distilleries	welding on bucket elevators	0)	0
Explosion	1	flour mill	unknown	0	0
Secondary dust explosion produced by fire	1	maltings	unknown	0 0	2 0
Explosion	1	other grain handling equipment	unknown	0	0
Fires	2	feed mills	unknown	0	0
Fire	1	maltings	unknown	0	0

B. The Application of Precautions

Based on this experience the risk of a dust explosion in a grain handling and storage plant has been considered somewhat remote, and the attitude has been adopted that modification to provide explosion relief on existing plants used solely for grain cannot be justified. But it is recommended that explosion relief should be fitted on new plants. In addition major emphasis is placed on the need to avoid accumulations of dust within confined spaces when storing and handling grain. It is recommended that both new and existing large dust collectors associated with grain handling and storage should be suitably fitted with explosion relief.

So far as electrical equipment is concerned, it is simply recommended that where it is exposed to flammable dust it should be dust-tight, but there is at present no specifications for such apparatus. However, the British Standards Institution is developing such specifications, which will be used with an area classification concept.

It is possible the resulting standard will be akin to the US standards referred to in the US government Hazard Alert of January 5, 1978.

C. Legal Requirements

There are no specific legal requirements directed at preventing explosion in grain storage and distribution. However, these activities are subject to the general requirements of the Health and Safety at Work, etc., Act, 1974, which obliges every employer to ensure, so far as is reasonably practicable, the safety at work of all his or her employees (Section 2) and the safety of all persons not in his or her employment who may be put at risk by the working activity (Section 3). Section 6 of the same Act places duties on those who design, manufacture, import or supply plant in connection with work activities and on erectors and installers to ensure that it is safe when properly used so far as is reasonably practicable.

The general impression concerning this topic, explosions, is that whilst we cannot exclude the possibility of a major dust explosion in grain storage in this country the risk is considerably lower than in the US where the hazard has been recognized and the precautions known for many years.

D. Health Hazards

Farmer's lung is the most common industrial disease caused by dust in agriculture in Great Britain. This allergy usually occurs as a result of handling dusty hay, straw or corn whilst feeding and bedding down livestock, or milling and mixing their rations. As for fumigation hazards, however, they are able to associate only one reported gassing incident since 1975 with the fumigation of grain elevators; this was non-fatal and the fumigant involved was phosphine. Other possible health hazards, not referred to in the OSHA document, include disease caused by grain metabolites (including chest disease) and the danger of vitiation of the environment and carbon dioxide intoxication.

The general duties of the Health and Safety at Work Act oblige employers to ensure the health and welfare, as well as safety, of their employees, as far as is reasonably practicable. This includes such things as the provision of adequate lighting, dust control and washing facilities. Health and Safety Inspectors regularly advise farmers and others on the dangers to health, as well as of explosion, of working in dusty conditions. Similar precautions are recommended for both purposes; to keep dust releases to a minimum, to clear away regularly all dust deposits, and where necessary to install means of extracting dust from the air, etc. There are no regulations requiring employees working in dusty conditions involving vegetable material to wear respiratory protection, but they are always advised to use dust respirators designed to British Standard BS 2091 with a "B" type filter. This standard of protection reduces the risk of infection from farmer's lung disease.

In the years 1958-1977 there has been only one explosion in grain handling and storage, and nine explosions and three fires in grain handling equipment at other premises, with no fatality.

E. Preventive Measures

Although the probability of a dust cloud being exposed to a source of ignition can be minimized by good design, it cannot be reduced to zero. Hence methods of explosion protection must be considered.

The principal methods are:

- minimizing cloud formation,
- containment,
- separation of units,
- relief venting,
- inerting,
- automatic suppression.

a) Minimizing Cloud Formation

Where a large bin or silo is being filled, it is better for the dust not to fall freely from a high point but to be introduced gently, preferably at various openings in the side.

A silo should not be used as a dust separator in a pneumatic conveyor system. The separation should be done separately in a cyclone or other suitable unit, and the dust fed gently to the silo. Plant units should not be so much too large for the process, that they never become filled to the design level, leaving large volumes which can contain dust suspensions. Where exhaust ventilation is provided, the dust should be removed from the air as soon as possible, and not be transferred over long distance to control separators.

b) Containment

The principal of containment is that the plant is sufficiently strongly built so that it can withstand the maximum explosion pressure without damage. With grain, this would be as much as 7 bar (45 kg/cm^2). The method of containment is only likely to be attractive in a plant of small dimensions and would not be practicable on grain elevators.

c) Separation of Units

If hazardous plant units can be separated from each other, then, in the event of explosion, a domino effect can be avoided. With grain elevators the various units, such as conveyors and bins, must of necessity be in close proximity so that the principle of separation is not readily applied. Separation of buildings containing people from hazardous plant is often possible and has not in the past always been given full consideration. With tall plant structures, control rooms and

other populated buildings should be spaced laterally along the plant separated by distance at least equal to the height of the plant.

d) Relief Venting

The principle of relief venting is the provision of apertures in the plant or building so that if an explosion occurs, and the internal pressure starts to rise, the increase is limited to a predetermined value which is related to the strength of the structure. The maximum pressure obtained depends on the area of the vents and on their distribution. Wherever possible, vents should be situated near where the source of ignition is likely to be, and on large plants multiple vents are required.

Information is available on the area of vent required (NTPA 1974; Palmer 1977). The NTPA publication deals with the venting of dust explosions inside vessels and is directly relevant to storage bins and silos, and dust collectors associated with grain elevators. The publication is based directly on experiments in vessels up to 60 m^3 (2 100 ft^3) volume but extrapolation is needed for a larger volume. There is a lack of direct information but for large elongated bins (of height/ diameter ratio up to six) there is some merit in requiring half the area of the top of the bins as vent (Palmer 1977).

In bucket elevator legs there is likely to be a dust cloud, due to the movement of the buckets, and ignition from friction or impact can occur. Explosion vents equal in area to the cross-section of the leg should be provided at the head and the boot and, if the leg is more than 12 m (40 ft) long, at 6 m intervals in the casing. The legs should be mounted outside the building. A similar distribution of vents is desirable on conveyors where, although dust may not be permanently in suspension, sufficient may be present within the structure to enable a secondary explosion to develop and to sweep the entire length of the conveyor with increasing violence unless checked by explosion protection measures.

As the action of a relief vent is to expel flame and burning dust, strict attention to the safe disposal of explosion products must be made. They should be directed away from populated areas or vulnerable neighbouring plant. It is undesirable for explosion vents to deliver their discharge into the interior of buildings.

e) Inerting

If inert gas is permanently introduced, during normal work, into dust handling plant then the oxygen concentration can be lowered sufficiently so that explosion will not occur even though a source of ignition may be present. The gases used are frequently nitrogen or carbon dioxide. In general, the method is unsuitable for use on grain elevators because of the large volumes involved, the need to provide accurate monitoring of gas compositions at numerous points, and the requirement for an inert gas supply of adequate capacity. Inerting is usually attractive when either the atmosphere in the plant can be recycled with minimal loss or generous supplies of inert gas are freely

available as a by-product. In the case of grain elevators this is not the case, and inerting is only likely to be attractive for special application in specific relatively small units.

f) Automatic Suppression

When a dust cloud becomes ignited the flame initially moves relatively slowly and the incipient rise in pressure can be detected rapidly so that a suppression agent can be injected into the volume to quench the flame before it raises the pressure to a hazardous level. Commercial systems are available and may be attractive for at least parts of grain elevators, e.g., elevator legs. Installation of the systems requires expert knowledge and is commissioned from the commercial supplier.

In considering the explosion protection of grain elevators, it has become clear that adequate safety cannot be obtained by either attempting to eliminate sources of ignition or by avoiding the presence of dust. Neither requirement can be met fully because both aspects will arise during normal working, but the design of the elevators should as far as possible reduce the likelihood of sources of ignition and dust being present. However, good design in this respect can give only partial protection. For full protection additional measures must be taken and that which is most generally applicable is likely to be relief venting.

For units on the elevator complex which are designed to collect dust, such as filters and cyclones, the venting requirements have been given straightforward coverage (NMPA 1974). In meeting the requirement of the code, attention must be paid to the design of the vent cover, and the need to ensure that flame and combustion products discharged from the vent do not endanger personnel or neighbouring plant. Advice on both aspects is given in the code.

The parts of the elevator complex concerned with the transport and storage of grain need particular consideration. In these parts, the dust that arises from the grain is the most likely explosion hazard, rather than the grain itself, which is of relatively large particle size. During the operation of the elevator the grain dust may either be in suspension, as in a bucket elevator due to the movement of the buckets, or may have settled out but be vulnerable to disturbance, as in conveyors. In both bucket elevators and conveyors, an explosion may propagate throughout the length, either because the dust clouds are present or because the explosion can generate it. Both bucket elevators and conveyors should therefore be protected with vents over their entire length. As a general rule, one vent every 6 m (20 ft) is desirable, equal in area to the cross-section of the bucket elevator or the conveyor. Such generous venting is particularly desirable where the bucket elevator and conveyor casings are of square or rectangular section, rather than circular, as they will then be structurally weaker. The amount of venting specified is designed to keep explosion pressures,

under the worst conditions, down to 0.15 bar (0.9 kg/cm^2) and the casings to the bucket elevators and conveyors should be capable of withstanding this pressure.

In the provision of relief venting generally, and with elevators and conveyors in particular, it is important that all parts of the cross-section of the units have access to the vent, so that the explosion may be relieved without internal obstruction. Some consideration of explosion venting requirements is given in the NFPA Standard for grain elevators (NFPA 1973). Although a relatively large amount of venting is required for the protection of bucket elevators and conveyors, a greater number of smaller vents, distributed evenly and to the same total area, may be used instead. The smaller vents may be particularly applicable when existing plant is to be modified; with new designs the larger vents may be more economical.

Conveyors which run underground present a particularly difficult problem. Relief venting to atmosphere is essential, and it cannot be to the bins or silos. In existing installations, access to the outside air may have to be provided specially for the vents; in new installations access should be designed in the first considerations. If venting is not provided for underground conveyors the pressure of explosion may be sufficient to dislodge and damage the overlying bins or silos, thus leading to catastrophic loss. Grain elevators with underground conveyors not fitted with venting thus present a difficult problem, which needs to be considered on an individual basis.

Bins and silos should be vented at their tops. Difficulty may arise in providing adequate access to the atmosphere of vented flame and combustion products. The venting requirements of the silos may then need to be considered together with those of the conveyor. At the present state of knowledge for large volumes, the area of the vent should not be less than half the area of the top of the bin or silo, and preferably larger, particularly if the bin or silo is of non-circular cross-section, and structurally weak. With circular sections, design strengths of 0.15 bar (0.9 kg/cm^2) should be obtainable without difficulty, but other geometries may present problems. If bucket elevators and conveyors are adequately vented, so that explosion does not damage their structure, then protection of the bins and silos against serious structural damage is obtainable. However, if bucket elevators and conveyors are not adequately vented then the bins and silos are also put at risk.

Because elevators are tall structures, burning material vented at high level can fall out over a wide area, depending on wind conditions. As a general guide, horizontal spread could be at least as far as the height of the structure. Similar considerations apply to vent covers, which may be dislodged and escape from their restraint. Buildings housing personnel, including control rooms, should preferably be outside the area of fall out. If it is not possible to site the buildings at an appropriate distance, then special strengthening measures, particularly of roofs, may be necessary.

The result of an explosion in a grain elevator, even if it is adequately vented, may be a sustained fire. Such a fire may well be severe because of the size of the explosion flame which initiated it. Fire fighting on this scale requires trained personnel, who will also need protection against smoke and fumes. Untrained personnel should be discouraged from participating.

F. Fires in Dust

Unlike dust explosions there are two types of burning in dust fires, flaming and smouldering. The type of burning depends on the characteristics of the dust, the dimensions of the deposit, and the ease of access of air. With flaming the rate of heat release is likely to be higher than with smouldering. If a suitable ignition source is present the burning of dust layers with flame can take place provided the quantity of dust is sufficient, it is distributed favourably, and the supply of air is adequate. Whether a particular dust can burn with flame so as to present a fire hazard may need to be determined by tests because it cannot be predicted reliably. Relatively little information is available on the burning rates of dust layers and until the theory of flame propagation over layers is developed, recourse must be made to experiment for information on burning characteristics. However, the sources of ignition which give rise to dust fires are the same as those for dust explosions, and the precautions to be taken are similar.

Two types of smouldering can be distinguished. In the first type the smouldering propagates over the surface of the dust deposit, or, if the deposit is thin, the smouldering burns practically the full thickness. The second type is ignition within the deposit, the smouldering propagating through the dust, mainly upwards until it reaches the surface. Propagation across the surface then proceeds as with the first type. Propagation through the deposit is usually the result of the buried ignition source, or ignition on a hot surface. Some information is available on the smouldering rates, and the effect of air flow, and on the transition to flaming (Palmer 1973).

There are no special types of fire detector designed solely for use against dust fires. When the dust is burning with flame it may well be emitting heat, light and smoke. Detectors are available which are sensitive to these emissions, but difficulty frequently arises because of interference by dust entering the detector. False alarms may then be a problem.

Automatic sprinkler systems fulfil the dual purpose of detecting fire and attacking it. They can give protection against fires in dust providing the heat output from the fire is sufficient to activate the sprinklers. This requirement would usually mean that the dust was burning with flame and that the sprinkler heads were directly accessible to the products of combustion of the fire.

If the dust is smouldering the rate of burning is usually slow, hence the heat release is also slow. The quantity of smoke pro-

duced varies with the nature of the dust, and reliable detection can be very difficult.

Fire detection systems do not have sufficiently rapid response to enable them to give warning of explosion. In addition, they may be rendered unserviceable by the effects of explosion, so that the fire fighting function of sprinklers may be lost.

Fires in dusts may be extinguished either by allowing the fire to burn all the dust, or by applying extinguishing agents, or by treating the dust deposit so as to exclude oxygen from the fire. Whichever method is used great care should be taken to avoid disturbing the dust into a cloud because burning material is present and may cause an explosion.

Allowing the fire to burn itself out may be possible for small amounts of dust but is not likely to be generally acceptable. If the method is used, continuous watch must be kept at all stages to ensure that changes in burning can be dealt with. Such changes are likely to arise from sudden air draughts, the burning away of the dust below its surface, and the failure of structures under the action of heat.

The usual approach is to extinguish the fire. Selection of the most suitable agent depends on factors such as the amount and situation of the dust, and the presence of nearby equipment. The extinguishing agent most commonly used for grain is water, which should be applied from a low pressure spray, and not from a high pressure jet. The action of high pressure water could be to disperse the dust into the air thus giving rise to an explosion hazard. If the dust layer is one metre or more in thickness, water applied as a spray may not penetrate into the mass of the dust. The dust must not then be vigorously stirred, but either it should be gently removed by digging and the spray application continued, or the use of a wetting agent in the water may be tried. Because of the necessity of applying water gently and of ensuring that it penetrates into the dust, extinguishing fires with water can be slow. Fire fighting foams, dry chemicals, or vaporizing liquids, as fire fighting agents, would have a limited use in the present context.

Gases or liquefied gases may be used as extinguishing agents provided that disturbance of the dust is avoided. Their action is basically the exclusion of air; hence their effectiveness as extinguishing agents depends upon their being present for a sufficient time to allow the dust to cool sufficiently to prevent reignition when the dust is again exposed to air. The agents will thus be particularly effective for a dust which is contained within a relatively gastight volume, e.g., a bin or silo. The agents have the advantage that they are able to penetrate relatively easily into the dust and can be used in fighting fires in large volumes. However, in such large volumes the heat insulation is good so that natural cooling of the dust is very slow. To ensure complete extinguishing of the dust fire the gas must be maintained for long periods, possibly for days or weeks. Liquefied gas should be introduced to the dust through piping which should penetrate into the dust so that the cooling effect as the liquid boils can then contribute to removing heat from the fire. Gas introduced in liquid form is likely

to be an effective extinguishing agent, but a close approach to the fire may be needed by operatives in setting up the system.

There is scope for further research into improved methods of applying extinguishing agents to fires in grain, paying particular attention to the large amount of material which may be burning, and to difficulty of access.

2.10 UNITED STATES OF AMERICA

There are about 15 000 grain storage and handling facilities in the United States, employing 225 000 workers. Approximately 10 000 of these facilities are grain elevators, and the rest are feed mills, flour mills, and other grain processing plants. Out of the 10 000 grain elevators, approximately 80 are export terminal elevators with over half of these elevators operating on a year-round basis. The other grain elevators, i.e., country elevators, operate seasonally with a work force that fluctuates, many part-time employees being used during the harvest season which is the peak employment period. During these peak employment periods, many grain elevators operate 24 hours per day.

A. Accidents

Grain elevator dust explosions averaged about 6.7 per year from 1938 to 1946. Then the average fell to about two per year from 1947 to 1955 and increased to about eight per year from 1958 to 1975. Since 1976, the number of explosions and fires in grain elevators has increased significantly. The recent series of explosions and fires, in which more than 60 persons were killed and many more injured, has elicited serious concern about the health and safety conditions of persons employed in the grain industry. Grain elevators rank first in industrial explosions; that is, in regard to the number of occurrences, the number of people injured and the amount of property damaged. Five times as many occur in grain elevators as occur in the flour and starch industries and more than 1.5 times as many as in the feed and cereal mills. Grain elevator fires are almost 500 times more numerous than grain dust explosions. Over 29 000 fires occurred between 1964 and 1974 and this resulted in an average of approximately 2 900 fires per year. Many more fires may not have been reported. The following table shows figures for explosion incidences in grain elevators and feed mills from 1958 to 1978.

Table 18

Explosion Incidents in Grain Elevators and Feed Mills, 1958-1978, U.S.A

Year	Number of Incidents		Deaths	Injuries
	Elevator	Feed Mills		
1958	8	2	2	27
1959	8	2	3	18
1960	8	4	4	18
1961	8	2	0	17
1962	8	1	3	51
1963	8	6	3	30
1964	2	6	3	22
1965	6	3	2	5
1966	9	5	2	22
1967	12	5	1	14
1968	9	7	12	38
1969	1	5	4	13
1970	10	0	1	14
1971	9	1	4	14
1972	2	6	7	23
1973	6	2	2	10
1974	10	5	13	37
1975	6	3	4	19
1976	18	4	22	82
1977	13	8	65	84
1978	7	5	7	47
Total	168	82	164	605

Source: U.S. Department of Agriculture, "Prevention of Dust Explosions in Grain Elevators - An Achievable Goal", draft report, Washington, April 1979; taken from Table 2 - 1.

The trend for the period 1964 through 1973 showed a yearly number of fires as follows:

Table 19

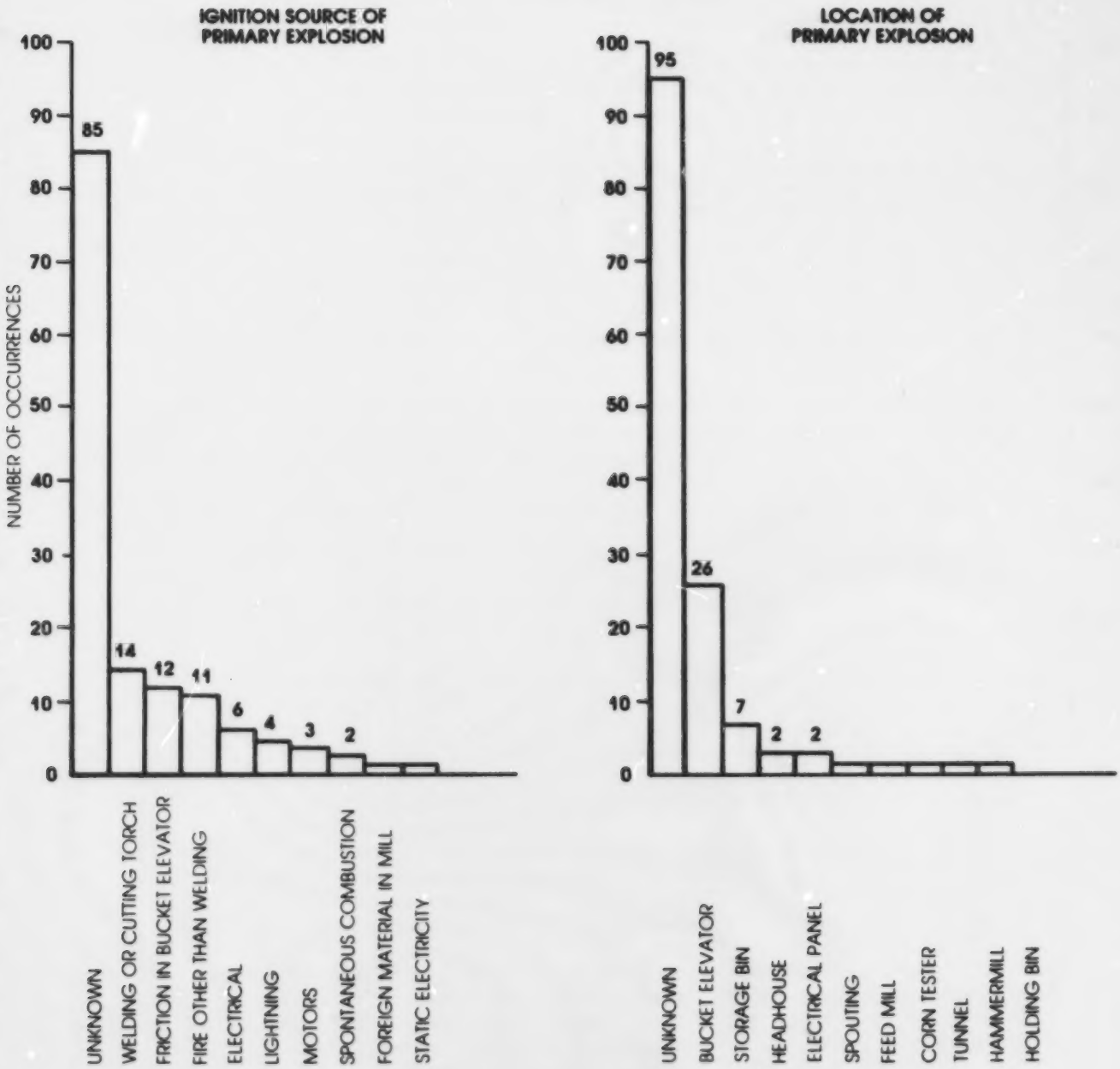
Fires and Property Losses, U.S.A.

Year	No. of fires	Property loss
		$
1964	2 000	29 500 000
1965	1 900	22 000 000
1966	2 000	23 000 000
1967	3 000	26 200 000
1968	5 300	26 600 000
1969	4 700	26 700 000
1970	3 000	47 800 000
1971	3 100	49 800 000
1972	2 400	42 800 000
1973	1 800	39 300 000

A significant decrease in the number of grain elevator fires per year has occurred since the peak years of 1968 and 1969. This may have resulted from an increasing use of fire protection equipment such as automatic detection and alarm systems and sprinkler installations.

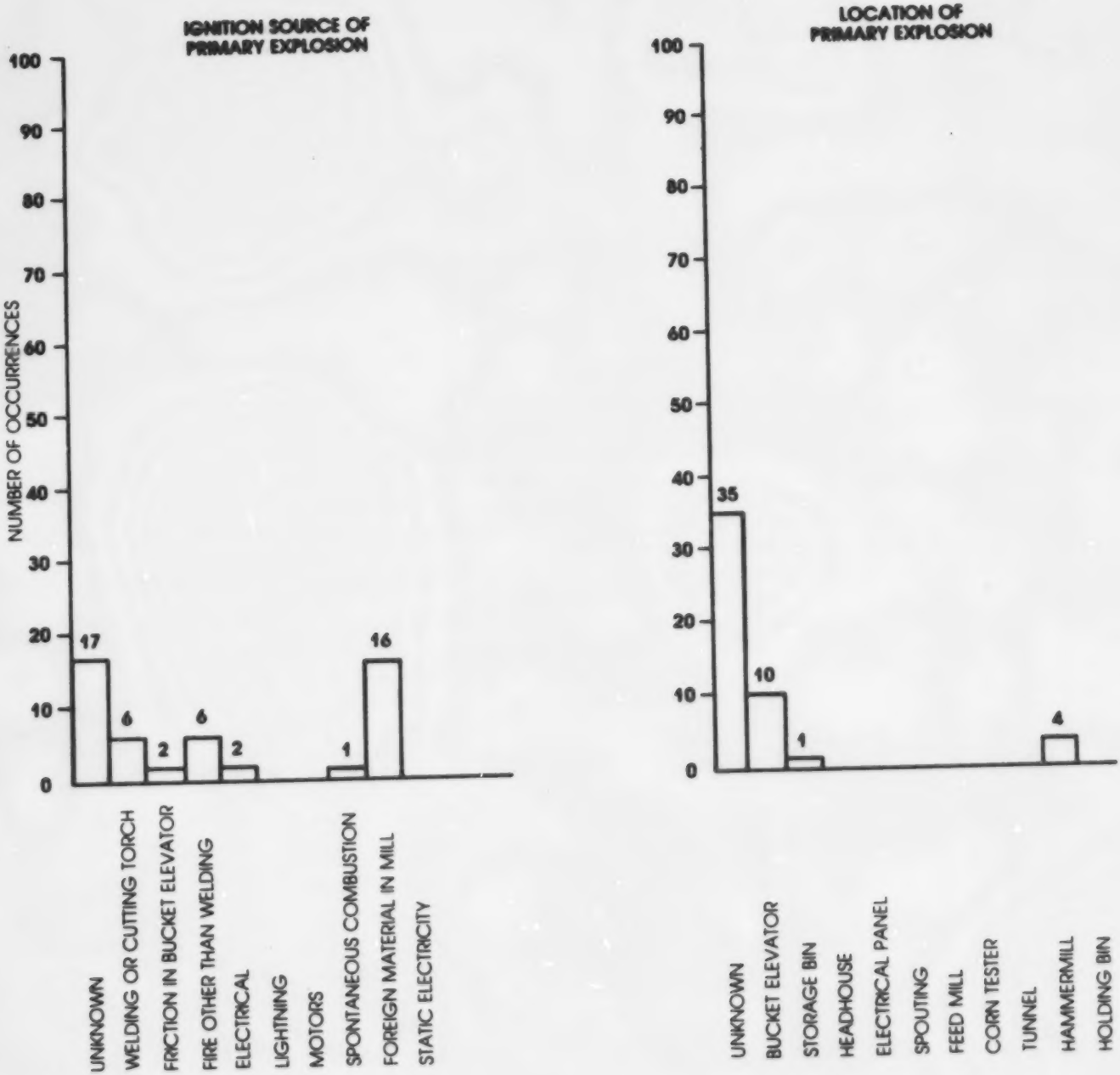
Charts 4 and 5 indicate the frequency with which the identified causes have resulted in explosions in grain elevators and feed mills from 1958 through 1975 along with the location of the primary explosion when known.

CHART 4



Causes of U.S. grain elevator dust explosions and location of primary explosion, 1958 through 1975. (From Table 2 of this report)

CHART 5



Causes of U.S. feed mill dust explosions and location of primary explosion, 1958 through 1975. (From Table 3 of this report)

B. Prevention and Control of Grain Elevator Explosions

Many of the means of explosion prevention and control in grain elevators have similarly been repeated frequently. These recommendations include:

1. prevent escape of dust from equipment by making it dust-tight and providing a permanent dust collecting system operated at a slight negative pressure;

2. minimize dust accumulations by use of smooth walls and floors, minimum horizontal surfaces, inaccessible surfaces inclined at a 60° angle, and placement of equipment to facilitate cleaning;

3. strictly enforce no smoking rules;

4. strictly supervise and control welding, cutting and soldering operations;

5. use only electrical motors, switches, fuse boxes, wiring and light fixtures which conform to the NFPA Electrical Code for Class II, Group "G" specifications;

6. place magnetic and pneumatic separators ahead of machinery;

7. prohibit shoes with nails in plant;

8. avoid aluminum, magnesium and similar light metal paints in elevator;

9. ground all electrical motors, dust collectors, ducts, metal bins, etc.;

10. clean and examine magnetic separators regularly and often;

11. use battery operated lamps instead of electrical ones on leads for inspecting bins;

12. never lower metal objects into bins;

13. provide lightning and surge voltage protection;

14. maintain proper tension on belt of bucket elevators; use anti-run-back devices; inspect regularly and frequently for loose bolts and loose or bent cups; keep strut board under head pulley free of dust and grain accumulations; assure proper clearance between elevator casing and pulleys, belt, and cups; provide all elevator legs with automatic mechanical or electro-mechancial devices to shut off all driving power and sound an alarm if the belt slows down or stops while the head pulley continues to turn;

15. provide adequate explosion relief venting on buildings, bucket elevators, bins, and conveyor galleries;

16. educate employees with regard to dust explosion hazards and prevention;

17. lubricate bearings regularly according to manufacturer's directions;

18. assure proper alignment and maintenance of belt drives; avoid V-belt drives wherever possible;

19. use an inspection report form to ensure regular maintenance;

20. use only Underwriters' Laboratories approved chemicals such as fumigants;

21. use hot water or low pressure steam heating; locate the boiler or steam generator in a separated and isolated room which is constructed of fire-resistive material and is free of dust or other combustibles;

22. separate hazardous operations by suitable screw or rotary chokes;

23. where possible, use equipment designed to contain an explosion;

24. provide as large a space as possible between sections of the elevator;

25. clean up accidental accumulations of dust promptly and regularly; do not use compressed air for removing dust; use vacuum dust removal systems instead of push brooms.

It is difficult to determine to what extent any of these recommendations are currently implemented in grain elevators. A survey of grain elevators in Iowa and surrounding states would be useful. It would be especially valuable to know to what extent they had been followed in elevators which experienced grain dust explosions in the last two decades. Such a study would best be undertaken by the industry itself, perhaps through the offices of their grain and feed associations, to assure maximum co-operation and to avoid the inquiry being viewed as an adversary proceeding -- a tendency which appears to be widespread throughout our society today.

A 1972 survey of 175 commercial grain elevators (a statistical sampling of the 7979 US grain elevators) included 104 country elevators with a total storage capacity of 101 903 000 bu., 48 inland terminal elevators with 336 904 000 bu. storage capacity, and 23 port terminal elevators with a storage capacity of 118 547 000 bu. This survey revealed that 28 per cent had active dust control programs compared to 20 per cent the previous year. Whether or not this represented a true

increase is not clear, because 15 per cent of those who responded in the 1971 survey did not do so in the 1972 study. The largest decrease in those responding occurred among the country elevators. It is also this class of elevator which indicated proportionately much less involvement in dust control. In 1972, dust control systems were reported by 15.4 per cent of the country elevators, 37.5 per cent of the inland terminal elevators and 65.2 per cent of the port terminal elevators. Plans to install dust collecting systems were reported by 20 per cent of all the elevators. These included 12.5 per cent of the country elevators, 39.6 per cent of the inland terminal elevators, and 13.0 per cent of the port terminal elevators. No plans to install dust control were reported by 52 per cent of all the elevators which returned the questionnaire in 1972. These included 72.1 per cent of the country elevators, 22.9 per cent of the inland terminal elevators, and 21.7 per cent of the port terminal elevators. Articles appearing in the technical and trade literature have called dust collection the first line of defense against fires and explosions, and have outlined requirements for an efficient system.

No smoking signs are frequently posted in grain elevators but enforcement may not be uniform. Insurance companies distribute these free of charge to their insured accounts and will generally check to see that they are posted.

From the relatively frequent and recent cases in which welding or cutting operations have been cited as causes of explosions, it would appear that not enough is being done in this area. Insurance companies produce free literature, instructions, and posters describing the hazards and procedures to be followed. The trade literature has also published instructions for these operations.

Breakdown of electrical equipment was noted to be the leading cause of fires (not explosions) in grain handling and processing plants every year from 1945 to 1970. Only about one-fifth of these were due to motor bearing failures. Motor failures were due to dust accumulation, overfusing, lack of maintenance on controllers, and voltage surges.

Though not explicitly linked to dust explosion ignitions, these observations would tend to suggest that more attention should be given to this problem. Substandard wiring, motors, light fixtures, fuse boxes, etc., are frequently cited by Iowa Occupational Safety and Health inspectors.

Installation of magnetic separators appears to be fairly common practice, but problems have been encountered due to lack of regular maintenance. Heavy accumulations of tramp metal in magnetic separators have been cited in several grain dust explosions during the past two decades.

A device can be adequately protected from excess amperage via proper fuses or circuit breakers, but these are not very effective for voltage surges. It was noted in 1970 that the National Electric Code had not given sufficient attention to surge voltage protection. Less than half of grain handling and processing plants were so equipped in 1970. The cost is said to be "small".

There appears to have been no specific design effort to provide adequate explosion relief venting. Large window areas are often provided in bin top conveyor galleries. However, it was observed during a personal inspection of the September 25, 1975, explosion at Lincoln, Nebraska, that in many cases the sash did not open and many of the panes were broken. Earlier studies would indicate that very high pressures may have been required to break the glass thus negating any explosion relief effect which might have been provided by the sash.

The Iowa Grain and Feed Association in co-operation with Kansas State University conducts annual Grain and Feed Mill Operations Workshops in four locations around the state of Iowa for managers and employees. Kansas State University personnel began conducting these workshops in their state in 1963. A significant portion of the workshop deals with fire and explosion hazards. Dust explosion demonstrations, films and slides, and distribution of the booklet, Prevention of Fires and Dust Explosions in Feed Mills, Flour Mills, and Grain Elevators are included in the workshop.

Copies of the slide presentation and audio tape cassette narration may be purchased from Kansas State University. The insurance industry sponsors safety education for its clients and will provide, on request, materials and speakers. The annual Governor's Safety Conference in Iowa included a one-day session on Grain and Feed Mill Safety. In addition IOSHA has sponsored Grain and Feed Mill Safety Seminars in five locations around the state, and offers IOSHA Safety Regulations Update sessions through the Iowa community college system.

Safety education is the responsibility of management, and the need for persistent attention to this area is heightened by the frequent use of temporary inexperienced help. The dust explosion demonstration employed by the Kansas State University personnel could easily be duplicated by any manager with inexpensive materials and could help to dispel the skepticism, especially among young workers, that grain dust can explode.

Maintenance in general appears to be an often neglected task especially during peak operation, and it is frequently then that it is most necessary. Jim Peterson, Safety Engineer for the Iowa Grain and Feed Insurance Company, notes that bearings equipped with overheat alarms need to receive more careful maintenance than those not so equipped. Instructions for proper bearing maintenance have appeared in the trade literature. In 1970, all "major" elevators of the Peavey Company, an interstate grain firm, were reportedly installing fire warning systems in which overheated motors or bearings activate an outside alarm. At about the same time two co-op elevators in North

Dakota installed fire detection and dry pipe sprinkler systems. The detectors were located in all electric motors and wherever bearings were located. In addition to an outside siren and an inside horn, a signal box in the main office indicated the specific location of the problem. Reductions in insurance premiums as a result of this installation were expected to pay for the system in seven to eight years. An active campaign by the Farmers Elevator Mutual Insurance Company of Des Moines, Iowa, has resulted in the installation of dry pipe sprinkler systems and automatic alarm systems in about 200 of their insured elevators since January 1, 1973.

It was noted in 1967 that the most important improvements being made in grain elevators and feed mills included surge voltage protection, automatic fire alarms, and dry pipe sprinkler systems for the headhouse. To prevent chokes and overloading of motors, interlocking control systems for machinery, instantaneous trip relays to automatically control the flow of stock, and bin level controls were being installed.

C. Other Approaches to Explosion Protection

a) Inert Atmospheres

An industrial representative, in 1960, was interested in determining the possible market for inert atmosphere systems for grain and seed storage. The potential benefits of this method were said to be fourfold:

(1) reduction of grain spoilage due to oxidation and aerobic bacteria;

(2) control of sprouting;

(3) inhibition of insects, rodents, and other pests; and

(4) reduction of fire hazards.

Responses from several large grain firms stated that (1) the main interest in inert atmosphere storage would be the inhibition of insects, rodents, and other pests because spoilage and sprouting are adequately controlled by reducing the moisture content of the grain; (2) a considerable amount of experimental work had been done but the results were inconclusive; and (3) costs would be prohibitive due to difficulties in providing airtight storage; concrete is porous and allows exchange of gases through the walls; iron clad buildings cannot be pressurized; and existing steel tanks have openings for ventilating, filling, and discharging grain; modification of the latter would be too expensive. No further details were available.

b) Explosion Suppression

Explosion suppression systems, capable of extinguishing an explosion within milliseconds of ignition, are commercially available.

They are employed extensively in starch industries in Europe and have been installed in a number of these plants in the USA.

c) Polyvinyl Chloride Components

The use of polyvinyl chloride (PVC) belting in bucket elevators is being explored as a means of decreasing the flammability of the belt, which is usually constructed of rubber impregnated fiber. However, tests conducted by the Bureau of Mines indicate that the flammability characteristics of PVC belting are comparable to those of rubber. To eliminate friction sparks caused by metal buckets hitting the elevator leg casing, the use of PVC buckets is also being investigated. However, PVC may present an even greater hazard to personnel and buildings. When heated to 200°C, PVC decomposes to yield a considerable amount of hydrogen chloride (HCl), a toxic and corrosive gas. Corrosion of metal equipment and structural members is reportedly visible within three days. HCl also combines with the lime in plaster and concrete to form $CaCl_2$. The latter is a persistent corrosive agent which seeps deep into walls and attacks structural steel members embedded in the concrete. An instance was cited in which damage initially estimated at about $2 000 was later adjusted to $4 000 000 after this hidden damage was discovered.

d) Dust Control

Complete containment of dust in conveying systems and storage vessels is one of the principle methods for reducing the dust explosion hazard. This is usually attempted by applying a slight negative pressure to bucket elevators and by placing systems over open belt conveyors, particularly at transfer points, to remove floating dust. The effectiveness of these techniques is less than complete and accumulations of dust on walls, ceiling, and equipment is likely. One large interstate grain firm has taken a different approach to dust control. Their newer installations, built in the late 1960s and early 1970s, incorporated a completely enclosed, dust-tight conveyor system, which they designed. The building is operated at a slight positive pressure by means of a 3 hp ventilating fan to prevent escape of the dust from the conveyors should an accidental leak occur. After six years of operation, it was reported that a general cleaning had not been necessary in the entire time. A black cloth wiped across the walls was said to show no indication of dust accumulation. Furthermore, the use of conventional electrical wiring and fixtures was approved by the municipal inspector and the insurance company. Open wiring, standard fuse boxes, switches, etc., and fluorescent lighting fixtures appreciably reduced construction costs. Additional advantages of the new, high capacity conveyor system were said to be low initial cost, complete elimination of conventional dust collection equipment, power economy, less space requirements, no spillage, greater adaptability to remote control, and lower overall building costs. Their newer installations are remotely operated from a central control room. Although conversion of existing structures to accommodate these innovations may be impractical, planning of new elevators could well benefit from these techniques.

e) Implementation and Enforcement of Preventive Measures

The insurance industry, through monetary incentives, provides an effective means for implementing explosion protection measures. By allowing premium discounts in return for installation of preventive measures, grain elevators can thus be encouraged to provide the necessary precautions.

As noted previously, codes for the grain handling industry were among the first to be formulated by the NFPA and date back to the 1920s. Current NFPA codes include standards for the prevention of fire and dust explosion hazards in starch manufacturing and handling, grain elevators, feed mills, sugar and cocoa manufacturing, spice grinding, and confectionary plants. Of these, only the codes for sugar and cocoa plants and for spice grinding have been incorporated into OSHA. The National Institute of Safety and Health, US Department of Health, Education and Welfare, include in their Health and Safety Guidelines for Grain Mills the following requirements relevant to dust explosion hazards:

(1) no smoking rules must be posted and enforced;

(2) good housekeeping practices must be followed;

(3) non-spark shoes and tools should be used;

(4) explosion-proof light sockets and switches must be installed;

(5) proper fire extinguishers must be provided;

(6) welding or cutting operations must not be permitted where combustible dusts are present; and

(7) procedures for welding and cutting operations must be formulated. However, under the general duty clause of the Williams-Steiger Act of 1970, which established OSHA and NIOSH, hazardous conditions or practices not encompassed explicitly in the standards adopted by OSHA legislation are also covered. In Iowa, enforcement of OSHA requirements is the responsibility of the Iowa Bureau of Labour as a result of legislation which established the Iowa Occupational Safety and Health Administration (IOSHA). The Bureau has a total of 15 industrial inspectors to oversee all of Iowa's industries including approximately 1 500 grain elevators.

The NFPA Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions in Grain Elevators and Bulk Handling Facilities, which has not been explicitly adopted by OSHA includes the following as absolute requirements:

1. Construction materials must be non-combustible or fire resistive.

2. Automatically closing fire doors must be provided in fire walls.

3. There must be no openings between bins (directions for venting bins are outlined).

4. Explosion relief venting must be provided in accordance with NFPA Standard No. 68, including elevator legs, dust collectors and ducts, and pneumatic conveyor systems.

5. Elevator legs must be constructed of non-combustible material, dust-tight, provided with sample inspection and maintenance access, and driven by individual motors and drives of optimum size.

6. All machines must have individual connections to the power source and not run idle.

7. Magnetic, pneumatic, or other separators must be placed ahead of grain processing machinery to remove all foreign material larger than the size of the grain being processed.

8. Belt drives must have a sufficient service factor to stall driving forces without slipping.

9. Screw conveyors must be fully enclosed.

10. Roller or ball antifriction bearings must be used. Lubrication inlets must be provided with dust caps.

11. Spouts must be dust-tight.

12. The code includes a lengthy list of requirements for installation, operation, and maintenance of driers.

13. A dust collection system conforming to NFPA Standards No. 91 and 66 must be installed at all dust producing points including boot pits, automatic scales, scale hoppers, belt loaders, belt discharge, trippers, distributor heads, at the end of belts, and on cleaners, scalpers, etc., if they are not dust-tight.

14. Static dust, spills and chokes must be immediately removed.

15. Electric equipment must conform to NFPA Standard No. 70, Articles 500 and 502.

16. Heating systems must be approved for Class II locations.

17. Smoking must be prohibited.

18. Machinery and conveyors must be grounded in accordance with NFPA Standard No. 77.

19. Procedures required for welding or cutting operations must include written permission; shut down of machinery and dust-producing operations prior to, concurrent with, and following these operations until final inspection has been made; cleaning and wetting down of floors and surroundings and the area below the site of welding; floors and wall openings tightly sealed; and inspection and patrol of the area for a sufficient time following these operations.

20. Power operated tools must not be used in a dusty environment.

RECOMMENDATION:

To better assess the magnitude of the existing problem of dust explosions and fires in the Canadian grain industry, it is essential that a more comprehensive centralized reporting system of all such incidents, regardless of their severity, be set up. To do this, it must be established that all concerned components of the grain industry be required to report to a central collection agency.

Present data collection is piece-meal, done by different agencies in various areas. Because fewer incidents occur within each reporting sample, the apparent gravity of the dust explosion and fire situation is devalued. Amassing of the facts by one centralized agency to produce an aggregation of data will produce statistics with more weight and authority, and will thus increase awareness within the industry of the problem and of the need for preventive measures.

One of the serious drawbacks of the present fragmented method of reporting is the lack of representability that results from small samples; the larger reporting sample that would be a product of centralized reporting would yield data with greater representability, permitting more accurate extrapolation of causes, and other accident parameters.

For these reasons, it is strongly recommended that responsibility and authority be given to one centralized agency for the collection of data in a standardized format on dust explosions and fire in the grain industry.

REFERENCES

Canadian Grain Commission, "Grain Elevators in Canada, Crop Year 1977/78".

Canadian Grain Handling Association, "Fires and Explosions", Task Force Report No. 1, 1979.

de Gooijer, H. et. al., "Literature Investigation into the Dust Explosion Danger in Industries Storing and Processing Cereals and Flour", Technological Laboratory, TNO, Netherlands, Oct. 1975.

Finn, W.D., Report of the Commission of Inquiry on Health and Safety in Grain Elevators, Oct. 1976.

Grain Elevator and Processing Society, Proceedings, International Symposium on Grain Dust Explosions, Oct. 4-6, 1977.

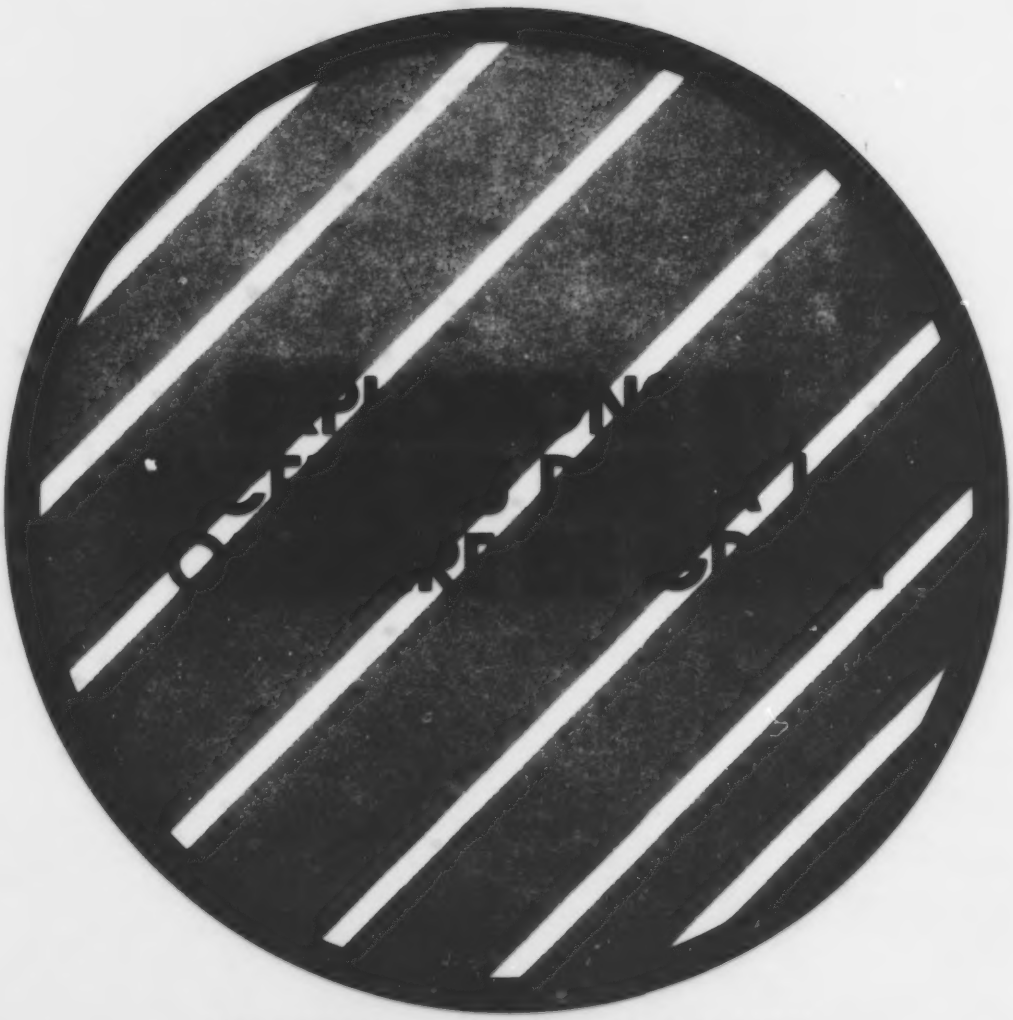
Labour Canada, "Canadian Employment Injuries and Occupational Illnesses", 1979.

Palmer, K.N., Dust Explosions and Fires, London: Chapman and Hall, 1973.

U.S. Government Printing Office, A Staff Report on the Oversight of the Occupational Safety and Health Administration With Respect to Grain Elevator Fires and Explosions, Washington, 1980.

Verkade, M. and Chiotti, P. A Bibliography of Topics Related to the Study of Grain-Dust Fires and Explosions with Key Word Indexes, Ames, Iowa: Energy and Mineral Resources Research Institute, May 1978.

Travail Canada
Labour Canada



SÉCURITÉ ET HYGIÈNE AU TRAVAIL

Canada

EXPLOSIONS ET INCENDIES

DUS À LA POUSSIÈRE DE GRAIN

Direction de la sécurité et de l'hygiène au travail
Travail Canada

Publié sous l'autorité du ministre du Travail,
gouvernement du Canada

Also available in English under the title
Grain Industry Dust Explosions and Fires

Distribué par le

Centre de distribution des publications
Travail Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0J2
(819) 994-0543

N° de cat. de Travail Canada

L46-1358/84F

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984

N° de cat. L 31-50/1984F

ISBN 0-662-92557-2

Imprimé au Canada

PRÉFACE

Ce document traite d'un bon nombre d'aspects liés aux causes et à la prévention des explosions et incendies de poussières de grains. Il est fondé sur l'expérience de 13 pays. Le document ne tente pas de faire l'analyse détaillée des données, mais plutôt de traiter cette question de façon générale.

Nous espérons que l'exposé systématique des données et des tableaux de même que les brèves descriptions des mesures de prévention et des installations requises pour réduire le nombre d'accidents permettront à l'industrie du grain de mieux saisir l'étendue du problème et de trouver les mesures de contrôle appropriées. Ces informations sont également destinées aux particuliers, aux syndicats et aux organismes gouvernementaux aux fins de référence.

Nous tenons à remercier les pays suivants : l'Australie, la Belgique, l'Angleterre, la France, la République fédérale d'Allemagne, le Japon, les Pays-Bas, l'U.R.S.S., la Suède et les États-Unis de même que la Commission canadienne des grains et la Western Grain Elevators Association pour leur collaboration.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1.	INTRODUCTION	1
1.1	Données de base et but de l'étude	1
1.2	Modèle statistique	2
1.3	Portée de l'étude	2
1.4	Aperçu général	3
1.5	Situation du Canada	3
1.6	Mesures de prévention contre les explosions et les incendies	4
1.7	Caractéristiques des installations	6
2.	RELEVÉ DES EXPLOSIONS ET INCENDIES DE POUSSIÈRES DE GRAINS, DES MESURES DE PRÉVENTION, DES INSTALLATIONS ET DES RÈGLEMENTS ADOPTÉS PAR LES DIFFÉRENTS PAYS	18
2.1.	AUSTRALIE	18
A.	Accidents	18
B.	Causes	18
C.	Mesures de prévention	18
D.	Caractéristiques des installations	19
E.	Pratiques d'exploitation	19
F.	Travaux d'entretien	20
G.	Contrôle de l'électricité statique	20
H.	Agents de sécurité et comités de sécurité	21
I.	Échange d'informations	21
J.	Lutte contre les incendies	21
2.2.	BELGIQUE	21
A.	Accidents	21
B.	Mesures de prévention	22
C.	Matériel de lutte contre l'incendie	22
D.	Construction de l'élévateur	22
E.	Dispositifs spéciaux de sécurité	23
F.	Entretien	23
G.	Lampes baladeuses interdites	23
H.	Interdiction de fumer	23
I.	Restrictions relatives à l'entretien	23
2.3.	FRANCE	24
A.	Accidents	24
B.	Mesures de prévention contre l'explosion	25

Page

2.4. JAPON 27

A. Accidents dus à des explosions 27
B. Mesures de prévention 27
a) Dépoussiérage 27
b) Réduction des sources d'inflammation 28

2.5. PAYS-BAS 31

A. Accidents 31
B. Mesures de prévention 37
C. Méthodes d'élimination des poussières 38
D. Sources d'inflammation autres que les machines 39
a) Soudure et découpage 39
b) Lampe baladeuse 40
c) Feu nu 41
d) Frottement 41
e) Étincelle d'origine mécanique 41
f) Électricité statique 42
g) Corps étrangers 43
E. Mesures de prévention contre les risques d'inflammation associés à l'équipement 44
a) Élévateur à godets 44
b) Broyeur et meules 44
c) Réseau d'aspiration des poussières 44
d) Séchoirs à chauffage direct 45
e) Système de ventilation 45
f) Transporteur à vis sans fin 45
g) Éclairage 45
h) Équipement électrique 46
i) Nettoyeur 46
F. Mesures visant à limiter les effets et la propagation d'une explosion de poussières 46
G. Incendie 47

2.6. AFRIQUE DU SUD 49

A. Accidents 49
B. Mesures de prévention 49

2.7. SUÈDE 50

A. Accidents 50
B. Mesures de prévention contre les explosions de poussières de grains 50

2.8. U.R.S.S. 52

A. Accidents 52
B. Mesures de prévention 52

Page

2.9. ROYAUME-UNI 54

A. Historique des explosions 54
B. Précautions 55
C. Règlements 56
D. Risques pour la santé 56
E. Mesures de prévention 57
a) Réduction de la formation de nuages de poussière 57
b) Résistance 57
c) Séparation des unités 57
d) Évents de décompression 58
e) Utilisation de gaz inertes 59
f) Extincteurs automatiques 59
F. Incendies de poussières 61

2.10. ÉTATS-UNIS 64

A. Accidents 64
B. Prévention et neutralisation des explosions dans les élévateurs à grains 69
C. Autres mesures de sécurité contre les explosions 74
a) Atmosphères inertes 74
b) Extinction des explosions 74
c) Composés de chlorure de polyvinyle 74
d) Dépoussiérage 75
e) Mise en vigueur des mesures de prévention 75

3. TABLEAUX

1. Nombre d'explosions de poussières par pays 2
2. Principales sources d'inflammation, produits, appareils et industries en cause (1860 à 1979) 3
3. Causes des explosions et des incendies 8
4. Secteurs de l'industrie en cause (1860 à 1979) 9
5. Causes des explosions par année pour tous les pays (1860 à 1979) 10
6. Appareils ou pièces responsables de l'inflammation (1860 à 1979) 11
7. Produits manipulés lors des explosions (1860 à 1979) 13
8. Rapport des causes des incendies survenus dans les silos de l'Ouest canadien (1970 à 1979) 16
9. Rapport des pertes humaines dues aux incendies pour une période de dix ans 17
10. Explosions de poussières dues à une source d'inflammation (1962 à 1975), Japon 29

Page

11. Explosions (1964 à 1975), Japon 30
12. Source d'inflammation, Pays-Bas 34
13. Matériel associé aux explosions, Pays-Bas 35
14. Statistiques : explosions de poussières aux Pays-Bas (1971 à 1980) 36
15. Nombre d'explosions par secteur d'industrie 36
16a) Données sur l'industrie fourragère, 1979, Pays-Bas 37
b) Données sur l'industrie de manutention du grain 1981, Pays-Bas 37
17. Liste des accidents (Grande-Bretagne; Irlande du Nord non comprise) de 1958 à 1977 55
18. Explosions survenues dans les silos à grains, et les fabriques de provendes de 1958 à 1978 - États-Unis 65
19. Incendies et pertes matérielles - États-Unis 66

4. GRAPHIQUES

1. Causes des explosions et des incendies 15
2. Répartition des sources d'inflammation aux Pays-Bas (%) 31
3. Répartition du matériel associé aux explosions (%) de 1971 à 1980, Pays-Bas 32
4. Explosions de poussières dans les silos à grains (États-Unis) 66
5. Explosions de poussières dans les fabriques de provendes (États-Unis) 67

5. RÉFÉRENCES 79

APERÇU SUR LES EXPLOSIONS ET LES INCENDIES DUS À LA POUSSIÈRE DANS L'INDUSTRIE DE MANUTENTION DES GRAINS

1. INTRODUCTION

1.1 Données de base et but de l'étude

Les poussières de grain et de farine en suspension dans l'air peuvent former des nuages explosifs qui, en raison de leur haut degré d'inflammabilité, risquent de prendre feu facilement. Au mois de janvier 1980, à Montréal, une violente explosion s'est propagée à huit silos et a arraché le toit d'un silo à grains en béton d'une hauteur de 30 mètres, causant un mort et sept blessés parmi les ouvriers. L'explosion a complètement ravagé les étages supérieurs du silo à grains, projetant les décombres sur une douzaine de wagons-trémies et wagons couverts stationnés sur une voie adjacente et occasionnant des dommages considérables. On rapporte que les décombres peuvent parfois se déplacer dans l'air sur une distance de cinq kilomètres. Plus récemment, en avril 1981, l'explosion d'un silo à grains au Texas a entraîné la mort de trois travailleurs et blessé trente-trois autres alors que des explosions en série se propageaient à l'ensemble des élévateurs. Plusieurs heures plus tard, à Bellwood, dans le Nebraska, un deuxième silo à grains explosait faisant un mort et causant des blessures graves à deux autres travailleurs. Depuis le début du siècle, plus de 1 100 explosions se sont produites dans les installations de manutention des grains aux États-Unis entraînant la mort de près de 500 personnes. Les statistiques établies sur les explosions de poussières survenues aux États-Unis révèlent que dans plus de 50 pour cent des cas, ces explosions se produisent dans les silos à grains et les minoteries. Au Canada, les statistiques établies par la Commission canadienne des grains à partir des demandes d'indemnités par suite d'accidents du travail révèlent que le pourcentage d'accidents du travail liés à des incendies et des explosions se situe au quatrième ou au cinquième rang pour tous les ministères et organismes fédéraux et que cette tendance continue de s'accentuer. Depuis 1976, le nombre d'explosions et d'incendies survenus dans les silos à grains aux États-Unis a augmenté de façon considérable. Pourtant, dans bien des cas, les causes ne sont jamais clairement établies, même par des enquêteurs qualifiés.

Dans le présent document, nous essaierons de mettre l'accent sur certains aspects des accidents à l'aide de statistiques fournies par les États-Unis, le Japon et certains pays d'Europe. Nous examinerons aussi les programmes de prévention de ces pays. La situation au Canada est présentée dans ce contexte.

La répartition du nombre d'explosions survenues dans chaque pays, pour différentes périodes, s'établit comme suit :

Tableau 1

Nombre d'explosions de poussières par pays

Pays	Explosions
Australie	2
Belgique	1
Canada	40
Angleterre	5
France	1
Allemagne	10
Japon	23
Pays-Bas	59
Suède	1
U.R.S.S.	S/O
É.-U.	465
TOTAL	607

Ces chiffres ne représentent pas la totalité des explosions qui se sont effectivement produites; ils ne comptent que celles ayant fait l'objet de rapports d'accidents. En effet, le nombre total d'explosions est souvent sous-évalué en raison d'un manque d'information ou de l'insuffisance et la décentralisation des services de déclaration d'accidents.

1.2 Modèle statistique

Les statistiques ont été établies à partir d'une variété de documents, de rapports et de lettres que chacun des pays a envoyé à Travail Canada sur ses propres expériences et sur les mesures de prévention et règlements respectifs adoptés en la matière. Cinq cent soixante-dix-neuf cas d'explosions survenues au cours de différentes périodes ont été retenus aux fins de l'analyse statistique, conformément aux chiffres soumis par les pays, ainsi que 104 cas d'incendies survenus dans les industries de manutention des grains de l'Ouest canadien pour la seule période de 1970 à 1979. Ce nombre ne représente toutefois pas la totalité des incendies survenus dans les installations de manutention des grains au Canada pour cette même période.

1.3 Portée de l'étude

Les données recueillies aux fins de la rédaction de ce rapport ont une portée limitée. Elles ne sont pas suffisamment uniformes dans leurs définitions de certaines variables entre les pays. Plus particulièrement, les renseignements concernant les mesures de prévention et les règlements appliqués par chacun des pays sont ou bien inexistants ou alors incomplets.

1.4 Aperçu général

Comme le montre le tableau 2, il ne semble pas y avoir de différence notable entre les principales sources d'inflammation, les secteurs de l'industrie et les appareils ou les pièces généralement associés aux explosions dans l'ensemble des pays. Entre 1860 et 1900, c'est le " feu nu " qui a le plus souvent causé des accidents, puis, après 1900, la majorité des accidents étaient attribués aux " corps étrangers ". Depuis 1961, la " soudure " et le " frottement " sont les causes les plus fréquentes d'incendies. Quant aux appareils et aux pièces les plus susceptibles de provoquer des accidents, mentionnons le " broyeur " pour la période allant jusqu'en 1960, et depuis lors, " l'élévateur à godets " et la " trémie ". Les secteurs de l'industrie les plus souvent touchés par les accidents étaient, par ordre d'importance, " l'entreposage et le transbordement ", " les fabriques de provendes " et " les minoteries "; à cet égard, la situation canadienne était pratiquement identique à celle des autres pays. De plus, des 33 variétés de grains étudiées, il semble que le millet, l'amidon et la farine soient les trois produits qui entraînent le plus souvent des explosions. Les rapports soumis par le Japon révèlent que dans 30,4 pour cent des cas, les sources premières d'inflammation ont provoqué des incendies.

Tableau 2

Principales sources d'inflammation
Produits, appareils et industries associés aux explosions
(de 1860 à 1979)

Produits	Causes		Appareils		Industries	
	Canada	Autres*	Canada	Autres*	Canada	Autres*
Millet	(données non disponibles 1860 à 1900)	feu nu (1860 à 1900)	broyeur	broyeur	entreposage transbordement	entreposage transbordement
Amidon	corps étrangers (1901 à 1960)	corps étrangers (1901 à 1960)	trémie	élévateur à godets	fabrique de provendes	fabrique de provendes
Farine	frottement (1961 à 1979)	soudure (1961 à 1979)	couloir, mélangeur	trémie	minoterie	minoterie

*" Autres " désignent tous les pays qui ont communiqué avec Travail Canada.

1.5 Situation du Canada

Au premier août 1977, le nombre de silos autorisés au Canada s'élevait à 3821, répartis comme suit : 3739 silos primaires, 25 silos portuaires, 30 silos de conditionnement et 27 silos de transbordement, employant un total d'environ 57 000 travailleurs. Depuis 1916, au moins 40 explosions de poussières ont été enregistrées au Canada. L'association " Western Grain Elevators Association " a, quant à elle, signalé

104 incendies survenus entre 1970 et 1979. Le nombre réel d'accidents risque toutefois d'être supérieur puisqu'il n'existe au Canada aucun service officiel d'enregistrement des explosions ou des incendies de poussières. On peut avoir accès à des rapports détaillés sur les explosions ayant entraîné des blessures ou des dégâts matériels considérables, mais les rapports sur les incidents de moindre importance, sont souvent incomplets. Les compagnies d'assurance, les services d'inspection ainsi que les associations provinciales d'exploitants de silos à grain se chargent d'établir des dossiers sur les incendies et les pertes occasionnées. Toutefois, faute de renseignements détaillés, ces dossiers ne permettent pas d'identifier avec certitude les causes des sources d'inflammation, des explosions ou des incendies de même que les appareils, les pièces et les produits en cause. Comme on l'a mentionné précédemment, l'expérience du Canada ne diffère pratiquement pas de celle des autres pays quant aux causes des accidents, aux appareils, aux pièces ou aux secteurs de l'industrie liés aux explosions. À la lumière des informations recueillies, il semble que les pannes mécaniques, les délits volontaires, la foudre et les feux nus (tableau 3) soient principalement à l'origine des incendies et que la majorité de ceux-ci (80,8 pour cent) se produisent en dehors des heures normales de travail (tableau 10).

Les mesures de prévention appliquées ou recommandées par les pays de même que les installations suggérées sont énumérées ci-après :

1.6 Mesures de prévention contre les explosions et les incendies

- Tenir en tout temps les lieux propres et en ordre.
- Aucune machine ne doit fonctionner avant la mise en marche du capteur de poussière.
- La poussière ne doit jamais retourner dans la masse de grain.
- Les planchers doivent être inclinés de manière à ce que les camions puissent sortir sans avoir à démarrer.
- Le maïs en grains ne doit pas être placé dans un silo de stockage avant d'avoir été nettoyé.
- Le taux d'humidité dans l'air doit être maintenu aussi élevé que le permettent les méthodes de conservation et de manutention.
- Aucune lampe ne doit être placée ou descendue dans la trémie.
- Il est interdit de fumer ou d'effectuer un travail à feu nu.
- Le frottement doit être réduit au minimum, par exemple lubrifier les paliers avec la graisse appropriée.
- Les essieux de tous les appareils doivent être correctement parallèles.

- Les câbles doivent être en matière anti-statique.

- Les convoyeurs à vis sans fin et à chaîne ne doivent pas fonctionner à vide.

- Un indicateur de glissement doit être fixé aux élévateurs à godets.

- Les étincelles de frottement mécanique et l'électricité statique doivent être éliminées.

- Les séparateurs magnétiques ou électromagnétiques d'objets de métal doivent être installés sur la première rangée des rouleaux, marteaux ou autres lamineurs afin d'empêcher l'entrée de tout corps étranger.

- Il est essentiel d'installer un dispositif d'aspiration des poussières.

- Les séchoirs doivent être munis de régulateurs thermiques ou de thermostats qui permettent de couper automatiquement l'apport de chaleur.

- Il est nécessaire de disposer d'un système de ventilation efficace.

- Toutes les sources d'éclairage doivent être étanches à la poussière.

- Tout l'appareillage électrique doit être enfermé dans des caissons étanches à la poussière.

- Aucun outil électrique ne doit être utilisé dans un lieu contenant de la poussière.

- Les canalisations d'eau ne doivent pas être situées aux étages supérieurs du silo, pour éliminer tout risque de bris de tuyau au cours de l'hiver.

- La présence d'employés aux endroits stratégiques du silo portuaire est essentielle lors du fonctionnement des convoyeurs et des machines.

- Les dispositifs à air comprimé ne doivent être utilisés pour souffler la poussière qu'en l'absence de tout autre moyen.

- La poussière doit être versée dans des bacs situés à l'extérieur des salles de traitement et des silos de stockage.

- D'après les enquêtes réalisées à la suite d'explosions, plus les compartiments d'un élévateur sont rapprochés plus il y a risque d'explosion. Ainsi, il peut s'avérer nécessaire de diviser les compartiments actuels en un certain nombre de cases isolées.

- L'accumulation de poussière peut être réduite par l'utilisation de parois lisses sur les murs et planchers.

- L'utilisation de peintures à base d'aluminium, de magnésium ou de métal léger semblable est à proscrire à l'intérieur de l'élévateur.

- Aucun objet métallique ne devrait être descendu à l'intérieur des cellules.

- L'utilisation de lampes à piles est préférable à celle de lampes alimentées par courant électrique lors de l'inspection des cellules.

- Il faut assurer le réglage et l'entretien adéquats des courroies d'entraînement et éviter, dans la mesure du possible, d'utiliser les courroies en V.

- L'élévateur doit être muni d'extincteurs d'incendie, de détecteurs automatiques, de systèmes d'alarme et de gicleurs appropriés.

- La vitesse de propagation de la flamme étant relativement lente lors de l'inflammation d'un nuage de poussière, il est possible de détecter rapidement toute augmentation de pression. Un agent extincteur devrait à ce moment être automatiquement injecté dans la masse de grain pour étouffer le feu.

- Des dispositifs doivent permettre de localiser les explosions dans les plus petits compartiments de l'élévateur afin de prévenir toute propagation de l'explosion.

- Des cribles doivent être utilisés pour séparer le grain des poussières.

- Afin de réduire les travaux de réparation à l'intérieur des élévateurs, des installations doivent être prévues pour démontrer les roulements, les goulottes et les boîtiers de protection.

1.7 <u>Caractéristiques des installations</u>

- Les couloirs de l'élévateur doivent être construits avec des matériaux ininflammables, étanches à la poussière et doivent permettre un accès facile aux fins d'inspection et d'entretien; ils doivent être actionnés par des moteurs indépendants et munis de dispositifs d'entraînement de dimension optimale.

- Toutes les machines doivent être reliées individuellement à la source d'alimentation en énergie électrique et ne doivent jamais fonctionner à vide.

- Des installations de dépoussiérage doivent être installées partout où il y a production de poussière.

- Toutes les machines et les transporteurs doivent être équipés d'une prise de terre.

- Le couvercle de la trémie ainsi que le toit doivent être de construction aussi légère que possible de manière à céder facilement en cas d'explosion.

- Les électrofiltres secs et leurs boîtiers sont situés dans une salle distincte. Cette salle est construite de sorte que le mur extérieur puisse s'affaisser et prévenir ainsi la propagation de l'explosion à la salle des machines.

- Des soupapes automatiques devraient être installées dans les ouvertures des murs ignifuges.

- Les poulies d'entraînement du transporteur et de l'élévateur sont revêtues d'une gaine isolante en caoutchouc.

- Ces revêtements sont en caoutchouc vulcanisé, munis de rainures à chevrons.

- Un interrupteur spécial doit être relié à une poulie d'entraînement le long de la courroie de manière à détecter le moindre glissement des courroies sur les poulies.

- Il est préférable d'avoir recours à la vulcanisation plutôt qu'à des joints métalliques.

- La construction des silos à grains et des élévateurs portuaires doit être conforme aux prescriptions légales en matière de bâtiment, d'appareillage, de sécurité et d'installation électrique.

- Les enceintes et les galeries des zones de manutention des grains doivent être construites avec des matériaux ininflammables et munies d'évents de décompression ainsi que de parois légères pouvant facilement céder en cas d'explosion.

Tableau 3

Causes des explosions et des incendies*

Causes	Explosions (de 1860 à 1979)		Incendies (de 1970 à 1979)	
	Fréquence	%	Fréquence	%
Inconnues	259	44,7	24	23,1
Corps étranger	94	16,2	-	-
Origine mécanique	-	0	16	15,4
Frottement ou engorgement	47	8,1	6	5,8
Délit volontaire	-	-	15	14,4
Soudure	42	7,3	1	1,0
Feu nu ou cigarettes	26	4,5	12	11,5
Étincelle électrique	23	4,0	-	-
Haute température	20	3,5	-	-
Étincelle mécanique	18	3,1	-	-
Incendie	17	2,9	-	-
Échauffement spontané	11	1,9	3	2,9
Électricité statique	9	1,6	8	7,7
Intrus	-	-	2	1,9
Appareil de chauffage	-	-	2	1,9
Lampe	9	1,6	-	-
Foudre	4	0,7	14	13,5
En dehors des heures de travail	-	-	1	1,0
TOTAL	579**		104	

*Source : Report N° 2., Fire and Explosion Task Force, Western Grain Elevator Association, Western Primary Elevator, novembre 1980, 759-167 Lombard Ave., Winnipeg, Manitoba.

**Certains cas ont été retirés faute d'information.

Tableau 4

Secteurs de l'industrie associés aux explosions
Pour tous les pays
(de 1860 à 1979)

Industries	de 1860 à 1900	de 1901 à 1910	de 1911 à 1920	de 1921 à 1930	de 1931 à 1940	de 1941 à 1950	de 1951 à 1960	de 1961 à 1970	de 1971 à 1979	S/O	Total
S/O							1	12	18	2	33
Minoterie	18	16	25	15	9	16	4	3	1	7	114
Entreposage, transbordement	2	5	26	43	62	40	19	1	6		204
Fabrique de provendes		9	16	37	22	20	21	16	12	2	155
Amidonnerie	2	11	8	7	5	5	14	2	2	6	62
Semences et légumineuses					1	4	1				6
Sucrerie							2	1			3
Fabrique de soja							1				1
Brasserie									1		1
TOTAL	22	41	75	102	99	85	63	35	40	17	579

Tableau 5

Causes des accidents pour différentes périodes
Pour l'ensemble des pays (de 1860 à 1979)

Causes	de 1860 à 1900	de 1901 à 1910	de 1911 à 1920	de 1921 à 1930	de 1931 à 1940	de 1941 à 1950	de 1951 à 1960	de 1961 à 1970	de 1971 à 1979	S/O	Total
Inconnues	3	25	42	58	39	51	24	8	9	1	260
Soudure					1	1	6	15	11	8	42
Lampe			1	1	2		1	2	1	1	9
Feu nu	15	1	6	1	1	1				1	26
Étincelle mécanique	1	1	4	2	4	2	2	2			18
Incendie	1		1	3	4	4	2			1	16
Foudre	1			2					1		4
Frottement	1	3	8	5	11	4	2	5	8		47
Corps étranger		10	7	22	32	8	13			2	94
Haute température		1		3	1	7	6	1		1	20
Étincelle électrique			4	5	3	3	3	2	2	1	23
Électricité statique			2		1	4	4		1	1	13
Échauffement spontané									7		7
TOTAL	22	41	75	102	99	85	63	35	40	17	579

Tableau 6

Appareils ou pièces responsables de l'inflammation initiale
(de 1860 à 1979)

Appareils ou pièces	de 1860 à 1900	de 1901 à 1910	de 1911 à 1920	de 1921 à 1930	de 1931 à 1940	de 1941 à 1950	de 1951 à 1960	de 1961 à 1970	de 1971 à 1979	S/O	Total	Pourcentage du total
Appareils d'éclairage	13		2	2		2					19	3,3
Broyeur	2	8	13	15	13	7	9	4	1	3	75	13,0
Élevateur à godets		2	6	2	8	1	6	9	5	3	42	7,3
Trémie		2	1	1	3	6	9	4	5	4	35	6,0
Convoyeur à vis sans fin		2	1	3				1	3	1	11	1,9
Séchoir		1		3		2	6	2	3	1	18	3,1
Ventilateur			1	1	2	2	2				8	1,4
Installation Électrique			1	1		2	2	1		1	8	1,4
Épluchoir				1							1	0,2
Mélangeur				1		1	2		2	2	8	1,4
Électromètre				1					1		2	0,3
Transformateur					1						1	0,2
Filtre anti-poussière					1	4		3	2		10	1,7
Nettoyeur					1						1	0,2
Rhéostat					1						1	0,2
Moteur électrique						3					3	0,5
Redresseur pour soudure						1					1	0,2
Brûleur à l'huile						1					1	0,2
Cyclone						1				1	2	0,3
Silo							1				1	0,2
Grilloir							1				1	0,2

Tableau 6 (suite)

Appareils ou pièces	de 1860 à 1900	de 1901 à 1910	de 1911 à 1920	de 1921 à 1930	de 1931 à 1940	de 1941 à 1950	de 1951 à 1960	de 1961 à 1970	de 1971 à 1979	S/O	Total	Pourcentage du
Roulement							1				1	0,2
Goulotte								1	1		2	0,3
Extraction								1			1	0,2
Déversoir								1	1	1	3	0,5
Cellule								1	5		6	1,0
Conduite de réception									1		1	0,2
Couloir de l'élévateur									2		2	0,3
Inconnus	7	26	50	71	69	52	24	7	8		314	54,2
TOTAL	22	41	75	102	99	85	63	35	40	17	579	

Tableau 7

Produits manipulés lors des explosions
(de 1860 à 1979)

Produits	Fréquence	Pourcentage
Inconnus	470	81,2
Farine	9	1,6
Orge	2	0,3
Provendes	3	0,5
Avoine	3	0,5
Sucre	3	0,5
Amidon gélatiné	1	0,2
Graine de coton	1	0,2
Maïs	5	0,9
Lait en poudre	2	0,3
Antioxydant	1	0,2
Amidon	11	1,9
Dextrine	1	0,2
Glutin de maïs	1	0,2
Seigle	1	0,2
Substitut de lait	1	0,2
Blé	4	0,7
Soja	3	0,5
Détritus de blé	1	0,2
Farine d'huile de maïs	2	0,3
Noix broyées	2	0,3
Fèves, pois	2	0,3
Farine de graines de coton	1	0,2

Tableau 7 (suite)

Produits	Fréquence	Pourcentage
Farine de lin	5	0,9
Poussière de broyage du riz	1	0,2
Moulée pour animaux domestiques	1	0,2
Déchets de soja	5	0,9
Fourrage pour porc	1	0,2
Déchets de malt	1	0,2
Graines de tournesol	4	0,7
Graines fourragères	1	0,2
Copra	3	0,5
Maïs	1	0,2
Millet	26	4,5
TOTAL	579	

GRAPHIQUE 1

CAUSES
DES EXPLOSIONS ET DES INCENDIES

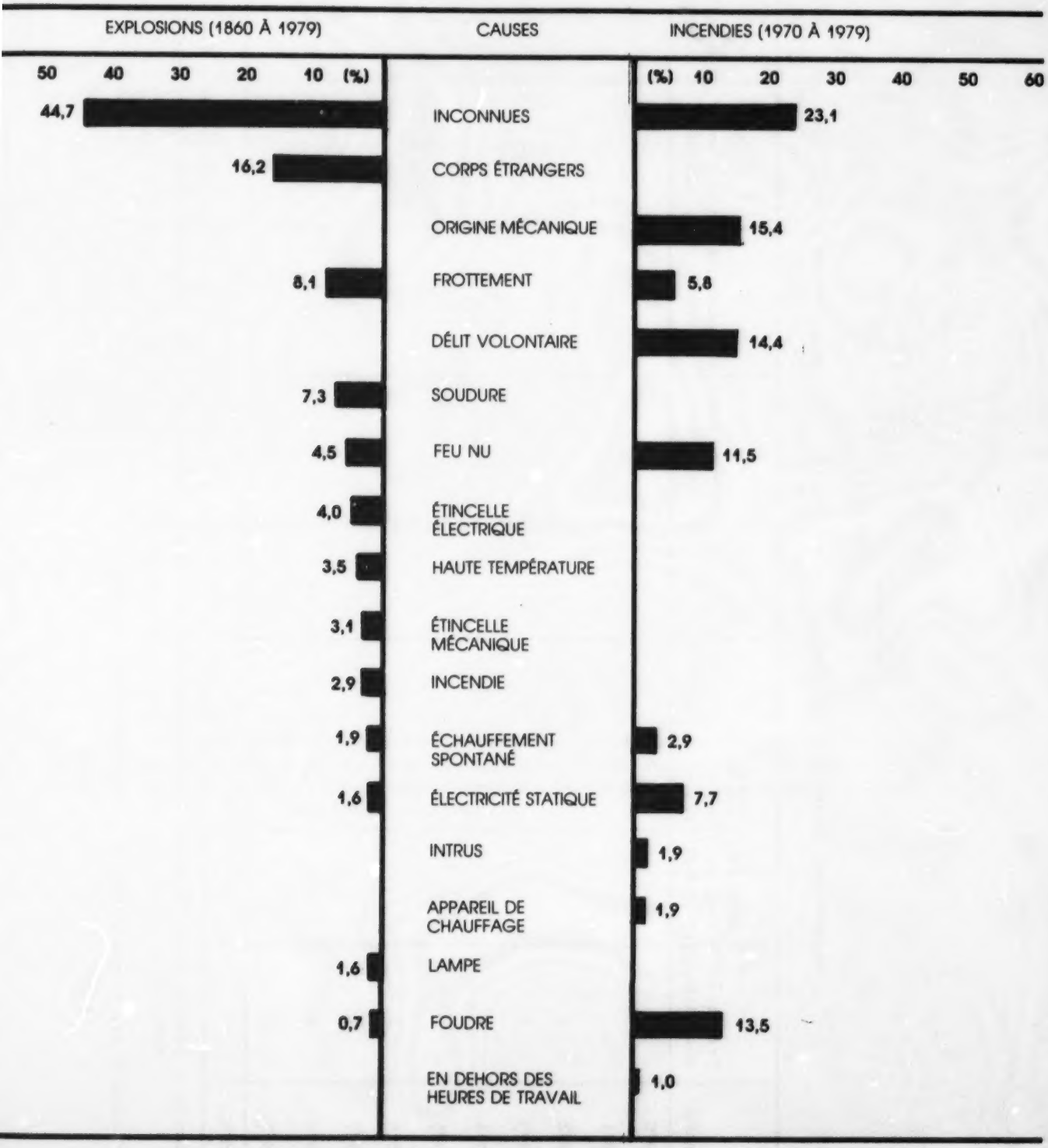


Tableau 8

Rapport des causes des incendies survenus dans les silos primaires de l'Ouest canadien[1]
(de 1970 à 1979)

Année	Origine mécanique	Engorgement ou frottement	Délit volontaire	Soudure	Feu nu ou cigarettes *	Combustion spontanée	Électricité statique	Intrus	Appareil de chauffage	Foudre
1970			2				1			1
1971		1	2		1		1			1
1972	1	2	2		1		1			1
1973	4	1	1		1			1		3
1974	2	1	2			1	1		1	1
1975		1					1		1	2
1976	3		3		2			1		3
1977	2		3		2	1	1			
1978	2				4*	1				
1979	2			1	1		2			2
TOTAL	16	6	15	1	12	3	8	2	2	14

[1]Source : Western Grain Elevator Association, Western Primary Elevator, Fire and Explosion Task Force, Report N° 2. Nov. 1980.

*Y compris les incendies dus à la négligence des fumeurs.

Tableau 9

Rapport des pertes humaines dues aux incendies pour une période de dix ans*

	Nombre de pertes humaines	%
Moment de l'accident		
Au cours des heures de travail (entre 8h et 17h)	14	13,5
En dehors des heures de travail	84	80,8
Inconnu	6	5,8
TOTAL	104	
Âge de l'opérateur (années)		
entre 18 et 25	12	11,5
entre 26 et 35	22	21,2
entre 36 et 45	10	9,6
entre 46 et 55	19	18,3
55 et plus	10	9,6
Inconnu	31	29,8
TOTAL	104	
Nombre d'années d'expérience de l'opérateur		
de 0 à 5	23	22,1
de 6 à 10	17	16,4
de 11 à 15	6	5,8
de 16 à 20	10	9,6
20 et plus	18	17,3
Inconnu	30	28,9
TOTAL	104	

*Source : Report N° 2, Fire and Explosion Task Force, Western Grain Elevator Association, Western Primary Elevator, novembre 1980, 759-167 Lombard Ave., Winnipeg, Manitoba.

2. RELEVÉ DES EXPLOSIONS ET INCENDIES DE POUSSIÈRES DE GRAINS, DES MESURES DE PRÉVENTION, DES INSTALLATIONS ET DES RÈGLEMENTS ADOPTÉS PAR LES PAYS

Les documents et rapports qu'ont fait parvenir chacun des pays sont résumés dans les pages qui suivent; ils sont présentés par ordre alphabétique.

2.1 AUSTRALIE

En 1978 l'Australie comptait 21 silos portuaires et 930 élévateurs régionaux.

A. Accidents

Depuis 1918, pas plus de six incendies et seulement deux explosions d'une certaine importance se sont produits dans les petits élévateurs ruraux. L'un des incidents eut lieu lorsque des employés chargés de l'entretien essayaient de dégager un couloir obstrué au pied de l'élévateur à l'aide d'un chalumeau oxyacétylénique. On croit que la poussière à l'intérieur de l'élévateur a explosé, causant des brulûres aux employés et endommageant l'élévateur.

Dans le second cas, des entrepreneurs effectuaient des travaux de soudure sur un caisson d'élévateur. Il semble que les résidus de poussières aient explosé. Personne n'a été blessé.

B. Causes

Les causes des explosions signalées sont les suivantes :

- l'utilisation d'un chalumeau oxyacétylénique
- la soudure

Les causes probables des explosions signalées sont :

- une source d'inflammation
- un faible taux d'humidité
- un mauvais entretien des lieux et présence de poussières
- la présence dans l'atmosphère de concentrations de poussières inflammables égales ou supérieures à la limite inférieure d'explosivité
- le découpage des métaux

C. Mesures de prévention

Les autorités australiennes de manutention de grain en vrac s'attachent principalement à assurer la propreté maximale des installations. Il est à remarquer que toutes les installations sont lavées à grande eau tous les ans. De plus, des mesures rigoureuses sont appliquées pour assurer l'enlèvement continu des poussières dans les silos de stockage. Selon les autorités, cette pratique contribue grandement à prévenir l'accumulation de poussière.

Certaines de leurs mesures de prévention sont décrites ci-après :

- un bon entretien des lieux comme il a été mentionné;
- la poussière ne retourne jamais dans la masse de grain;
- un capteur de poussières, un dépoussiéreur et des installations étanches aux poussières;
- la principale caractéristique des élévateurs dans la plupart des silos portuaires australiens est qu'aucun appareil ne peut fonctionner avant que le système de dépoussiérage ne soit en marche;
- dans les nouvelles installations, les planchers sont inclinés afin que les camions puissent sortir sans démarrer.

D. Caractéristiques des installations en matière de sécurité

- Toutes les poulies d'entraînement du transporteur et de l'élévateur sont revêtues d'une gaine isolante en caoutchouc. Le revêtement de la poulie du transporteur est vulcanisé et muni de rainures à chevrons.

- Un commutateur spécial relié à la poulie d'entraînement le long de la courroie permet de contrôler son mouvement dans les silos et de déceler le moindre glissement de la poulie de tête. On a de fait souvent associé les explosions de poussières au glissement des courroies sur les poulies d'entraînement.

- Lorsqu'il faut adjoindre des courroies de transporteur, il est préférable de le faire par vulcanisation plutôt que par des joints de métal qui risquent en effet de produire des étincelles s'ils entrent en contact avec les engrenages.

- La construction des silos à grains et des élévateurs portuaires doit être conforme aux prescriptions légales en matière de bâtiment, d'appareillage, de sécurité et d'installation électrique.

- Les enceintes et les galeries des zones de manutention des grains sont construites avec des matériaux ininflammables et munies d'évents de décompression et de parois légères pouvant céder facilement en cas d'explosion.

E. Pratiques d'exploitation

- Il faut s'assurer que des employés sont présents aux endroits stratégiques de l'installation lors du fonctionnement des transporteurs et des machines, car ni les élévateurs portuaires ni les silos régionaux ne sont munis de dispositifs capables de déceler les glissements des courroies ou l'échauffement des billes de roulements.

- Les dispositifs à air comprimé ne doivent être utilisés pour souffler la poussière qu'en l'absence de tout autre moyen.

- Il est interdit de fumer.

F. Travaux d'entretien

- Les travaux de soudure, de brasure et de découpage sont strictement interdits avant d'avoir préalablement consulté et obtenu la permission du surintendant de l'élévateur portuaire ou du silo. L'endroit où doit s'effectuer le travail est soigneusement nettoyé et isolé; une couverture d'amiante et des sacs humides sont placés tout autour de l'emplacement des travaux de soudure ou de découpage. Ces travaux ne doivent pas être effectués si la journée de travail se termine dans moins de deux heures.

- Il faut vérifier régulièrement le niveau de poussière à l'intérieur ainsi qu'autour des élévateurs portuaires de grain en vrac et des principaux élévateurs régionaux.

G. Élimination de l'électricité statique

L'électricité statique, que l'on considère souvent comme l'une des causes des explosions de poussière, se produit lorsqu'il y a transfert d'une charge statique à des conducteurs métalliques isolés qui ne sont pas mis à la terre. Toutefois, elle ne peut provoquer d'explosion que si les quatre conditions suivantes sont réunies :

1. la présence d'un véhicule réel de production d'électricité statique;

2. l'accumulation de deux charges distinctes et maintien d'une différence appropriée d'énergie électrique;

3. la production d'étincelles d'une puissance appropriée;

4. la production d'étincelles dans un milieu inflammable.

Pour que soit engendrée une situation dangereuse l'électricité statique produite doit atteindre le voltage minimum requis qui se situe généralement aux environs de 30 000 volts, selon les conditions ambiantes.

Les charges statiques peuvent être décelées à l'aide d'une source nucléaire (H_3, le tritium) qui constitue un agent de mesure à haute résistance ainsi qu'avec le détecteur d'électricité statique m703. Le voltage enregistré par l'appareil représente la différence d'énergie entre l'objet analysé et le sol, à condition que l'opérateur soit relié au sol.

Le résultat obtenu indique à la fois le niveau de tension et la polarité de la surface chargée.

H. Agents de sécurité et comités de sécurité

- En Australie, chacune des installations de manutention de grain en vrac compte un agent de sécurité. La plupart du temps ces agents se consacrent entièrement aux questions de sécurité et doivent veiller au maintien de conditions de travail sûres de même qu'à la prévention des explosions de poussières de grains.

- Tous les agents ont reçu une formation nécessaire appropriée.

- Le comité de sécurité se réunit régulièrement et remet ensuite une copie du procès-verbal au chef de la sécurité. Si des procès-verbaux ne sont pas transmis au chef, on peut présumer de l'inaction du comité.

I. Échange d'information

En Australie, les autorités de manutention de grain en vrac ont toujours collaboré activement à l'échange d'information sur les questions concernant la sécurité. Plus récemment, cet esprit de collaboration s'est encore manifesté davantage par la préparation conjointe d'un code des pratiques et procédures de sécurité à la suite de la demande d'un syndicat qui exigeait que des dispositions législatives sanctionnent certaines mesures de sécurité. Les autorités de manutention de grain en vrac n'étaient pas favorables à l'idée de lois issues de pressions extérieures; elles ont donc persuadé le syndicat d'accepter la publication d'un code en guise de compromis.

J. Lutte contre les incendies

La plupart des élévateurs portuaires ne sont pas munis de détecteurs de chaleur; on a donc envisagé l'utilisation de gaz carbonique (CO_2) comme agent d'extinction. Outre son pouvoir d'extinction, le gaz carbonique possède des propriétés de refroidissement en plus d'être peu dispendieux et facilement disponible.

2.2 BELGIQUE

A. Accidents

En Belgique, aucune statistique officielle ne porte spécifiquement sur les incendies et les explosions survenus dans l'industrie du grain. Par contre, ces accidents sont consignés dans les rapports des services des incendies. Le seul incident important concerne un incendie qui s'est produit il y a environ sept ans à Ghent et dont les causes sont inconnues.

B. Mesures de prévention

Cette information est fondée sur les mesures appliquées par l'un des plus importants silos de Belgique. Certaines des mesures de sécurité sont décrites ci-après :

- Suppression des poussières; les élévateurs sont munis des dépoussiéreurs appropriés.

- Contrôle de l'accumulation de chaleur pouvant résulter de la détérioration ou état de l'entreposage inapproprié des grains.

C. Matériel de lutte contre l'incendie

Inspection annuelle des lieux et de l'équipement :

- Les contrats d'inspection sont donnés par la compagnie à l'une ou l'autre des nombreuses entreprises approuvées par le ministère du Travail. Une copie du rapport d'inspection est envoyée au comité de sécurité du Port et des mesures correctives sont appliquées s'il y a lieu.

D. Construction de l'élévateur

La construction des élévateurs tient compte des mesures de prévention des incendies et explosions et plus particulièrement de l'élimination des poussières. Toute l'installation est munie de systèmes d'aspiration des poussières ou de nettoyage à vide. Ce système permet de capter la poussière et de la retourner dans la masse de grain plutôt que de l'évacuer dans l'air. Aussi, plutôt que d'installer un réseau d'évents de décompression, la compagnie a placé des panneaux et des parois lisses à l'une des extrémités de l'installation, lesquels peuvent facilement céder en cas d'explosion.

Au nombre des autres caractéristiques de la construction, mentionnons :

- l'absence de toute canalisation d'eau dans le haut du silo, éliminant ainsi tout risque de bris de tuyaux au cours de l'hiver;

- un système de prise de terre sujet à une inspection annuelle et un système de paratonnerre inspecté deux fois l'an.

Le Service des incendies exige qu'il y ait dans chaque silo un kilogramme de gaz carbonique par mètre cube; un réservoir de CO_2 d'une capacité correspondante doit donc être installé à l'extérieur des silos.

La compagnie a envisagé la possibilité d'introduire un tube central dans chacun des silos muni près de l'extrémité inférieure d'un réservoir de sable. Le sable est retenu dans le réservoir par une membrane qui explose si la température atteint un niveau dangereux.

E. Dispositifs spéciaux de sécurité

Les silos sont munis d'instruments permettant de relever la température et le taux d'humidité à diverses hauteurs dans le silo. Les machines et les autres appareils sont simplement pourvus de thermostats, de fusibles et autres dispositifs semblables.

F. Entretien

La compagnie a engagé quatre préposés à l'entretien à plein temps.

G. Lampes portatives interdites

Des projecteurs spéciaux de 24 volts sont installés à l'extérieur des silos mais peuvent être glissés jusqu'au haut de la bouche d'accès sur des échafaudages mobiles.

H. Il est interdit de fumer

I. Restrictions relatives à l'entretien

Aucun travail d'entretien des machines n'est effectué lors du fonctionnement des élévateurs. De plus, la soudure, la brasure et le découpage des métaux ne peuvent être effectués qu'une fois le silo bien fermé. En cas de fuite, le trou est temporairement bouché avec du caoutchouc ou un adhésif au silicone.

2.3 FRANCE

A. Accidents

Nous ne décrivons ci-après que l'expérience de deux compagnies. En effet, aucune statistique encore ne fait état de l'ensemble des accidents survenus en France.

a. Incendie dans un élévateur portuaire

Les dégâts matériels, à eux seuls, se sont élevés à 20 millions de francs; cette somme ne comprend pas les pertes de marchandises endommagées par le feu et par l'eau. L'accident n'a fait aucun mort mais les employés ont dû être secourus par hélicoptère.

Cause de l'incendie

Des pluies torrentielles ayant occasionné l'infiltration considérable de pétrole seraient à l'origine de la formation d'une poche de liquide inflammable près de la trémie de réception; cette poche aurait pris feu soit sous l'effet d'un réchauffement soit au contact d'une étincelle. Il semble que l'emplacement ait été entièrement imprégné de pétrole à la suite du déversement continu de réservoirs de stockage avoisinants au cours de la Seconde Guerre mondiale.

Observations

Aucune mesure de protection contre l'incendie n'a été prise lors de la conception et la construction de l'élévateur.

L'installation ne possédait aucun instrument permanent de lutte contre l'incendie.

L'élévateur était situé à 30 mètres seulement d'un important site de stockage de pétrole.

Il n'y avait pas de réservoir d'eau sur l'emplacement. En outre, la borne d'incendie la plus proche était située à 400 mètres de là.

b. Explosion d'un élévateur à maïs en 1976

Les dommages se sont élevés à 20 millions de francs. Fort heureusement, il n'y a eu aucune perte de vie humaine.

Cause de l'explosion

Selon le rapport établi, l'explosion serait attribuable à une accumulation importante de poussière dans l'ensemble du transporteur et à l'utilisation excessive de l'élévateur - jusqu'à huit fois sa capacité.

B. Mesures de prévention contre l'explosion

Le maïs en grains ne doit jamais être placé dans un silo d'entreposage avant d'avoir été nettoyé. Il est préférable d'utiliser, au besoin, un élévateur d'appoint avant de procéder au nettoyage. Les lieux de réception du grain et de l'élévateur intermédiaire doivent être délimités.

La salle de nettoyage et le séchoir doivent être situés à plus de 15 mètres de l'élévateur principal. Quant au séchoir, il ne doit en aucun cas être adjacent à une autre salle ou installation.

Tous les endroits où la poussière se dépose ou risque de s'infiltrer sous forme de particules en suspension doivent être minutieusement inspectés en vue d'éliminer toutes les sources possibles d'inflammation mentionnées précédemment. Le séchoir en particulier ne doit jamais être situé dans de tels endroits.

La poussière doit être éliminée à la source à l'aide du matériel conçu à cette fin.

La poussière doit être acheminée directement à des bacs récepteurs situés à l'extérieur, aussi loin que possible des bâtiments.

Tous les appareils sur lesquels il est impossible d'installer un dépoussiéreur, tels les élévateurs, les vis de transport ou les transporteurs, les dispositifs de nettoyage et de réglage et autres mécanismes semblables, doivent être enfermés dans un boîtier métallique étanche aux poussières en suspension dans l'air. Un séparateur magnétique doit également être intégré à ces appareils de manière à ôter, avant l'arrivée du grain, tout fragment de métal susceptible de produire des étincelles.

Un système d'échappement de la poussière assurant une circulation d'air suffisante doit être construit afin que la concentration de poussière soit maintenue en tout temps en dessous des limites explosives minimum.

Tout le matériel doit être conçu de manière à faciliter le nettoyage des poussières résiduelles. Aussi, doit-il être dépourvu de toute rugosité grâce à l'utilisation de revêtements appropriés, de coins arrondis, etc.

Le plancher situé au-dessous des transporteurs à courroies doit être d'accès facile et de telle sorte qu'il puisse être arrosé, lavé à grande eau, même pendant le fonctionnement des transporteurs, ou entièrement recouvert d'eau.

En outre, le maintien d'un taux d'humidité aussi élevé que possible, conforme aux exigences de conservation, de manutention et d'utilisation du grain, peut diminuer considérablement les risques d'explosion; la température d'inflammabilité du grain étant de ce fait un peu plus élevée et les charges électrostatiques réduites.

L'installation doit être munie de dispositifs de sûreté, tels que des trappes, des volets amovibles et des disques de rupture qui permettent d'éliminer toute surpression lors d'explosions.

L'installation doit être pourvue de paratonnerres.

Tout le câblage doit être conforme aux normes de l'Union technique de l'électricité. Toutes les opérations doivent cesser lors des travaux d'entretien ou de rénovation.

2.4 JAPON

A. Accidents dus à des explosions (de 1962 à 1975)

Compte tenu de la petitesse du territoire japonais et de sa concentration démographique très importante, toute explosion qui survient en zone urbaine ou dans une installation portuaire risque non seulement de causer des dégâts à l'élévateur à grains ou à l'usine de traitement même, mais également de porter préjudice aux bâtiments avoisinants et à la population qui s'y trouve. Depuis plusieurs années, il se produit de deux à trois explosions de poussière par an, peut-être en raison du volume commercial considérable de l'industrie du grain au Japon. La plupart des accidents se sont produits lors du transport du grain. En outre, dans les silos à grains, presque tous les accidents se sont produits lors de la manutention, notamment dans les élévateurs, les transporteurs et les goulottes de descente. Aucun accident n'est attribuable aux dépoussiéreurs ou aux séparateurs de poussières. Enfin, plus de la moitié des accidents ont été occasionnés par des étincelles ou des particules en fusion lors de travaux de soudure ou de découpage effectués avec des chalumeaux. Les explosions attribuables aux étincelles électrostatiques sont beaucoup moins nombreuses qu'on ne l'a cru, peut-être parce que le Japon a un taux d'humidité très élevé.

B. Mesures de prévention

La poussière de roche et l'eau utilisées généralement dans les mines de charbon pour prévenir les explosions de poussière se révèlent pratiquement inutiles dans le contrôle d'autres poussières, particulièrement dans le domaine agricole. Dans ces conditions, il est important que toutes les sources possibles d'inflammation soient rigoureusement éliminées. Au Japon, les mesures de prévention doivent être appliquées particulièrement pendant les travaux de soudure et de découpage. Il est à remarquer que les risques d'explosions sont élevés non seulement lors de l'arrêt complet de l'élévateur en cas de panne ou autre défectuosité, mais également au début et à la fin des opérations durant son fonctionnement régulier. De façon générale, on recommande de réduire la concentration d'oxygène à l'aide de gaz inertes ou bien d'installer un dispositif d'aération approprié pour prévenir ou diminuer les risques d'explosions dues aux poussières.

Les mesures de prévention contre les explosions dues à des poussières de grain appliquées dans les installations du Japon sont décrites ci-après :

a. Dépoussiérage

Des conduits et des dépoussiéreurs à sacs filtrants sont installés à tous les points de production de poussière.

Les salles des machines sont à charpente d'acier et revêtues de panneaux d'ardoise en vue d'en faciliter le balayage.

Les salles des machines sont régulièrement balayées pour éviter l'accumulation de poussières; les plafonds, les poutres et les murs sont inspectés et nettoyés une fois par mois.

b. Réduction des sources d'inflammation

Aucun travail de soudure ne doit être effectué lorsque les machines sont en marche. Les murs et les planchers du lieu de travail de soudure sont aspergés d'eau pour prévenir toute propagation de l'incendie pendant les travaux de soudure. De plus, l'endroit où s'effectue les travaux de soudure à flamme nue doit être recouvert de panneaux ininflammable de cinq centimètres d'épaisseur pour protéger les matériaux inflammables.

Toute pièce susceptible de provoquer un frottement dans les transporteurs et toute source d'éclairage autre que les lampes antidéflagrantes sont interdites.

Tableau 10

Explosions de poussières dues à une source d'inflammation (de 1962 à 1975), Japon

Source d'inflammation	Nombre d'accidents	%
Soudure, découpage	12	52,3
Choc	3	13,0
Charge électrostatique	2	8,7
Frottement	2	8,7
Combustion spontanée	2	8,7
Échauffement anormal du séchoir	1	4,3
Inconnue	1	4,3
TOTAL	23	100

Tableau 11

Explosions (de 1964 à 1975), Japon

Année	Produit	Appareil ou procédé liés à l'explosion	Source d'inflammation	Morts	Blessés	Incendie
1964	céréales fourragères (son)	cellule de stockage	inconnue	0	2	non
1965	blé	broyeur	choc	1	0	non
1965	céréales fourragères (orge)	broyeur	frottement	0	0	oui
1966	céréales fourragères	élévateur à godets	soudure	2	11	non
1966	céréales fourragères	broyeur	soudure	0	1	non
1966	céréales fourragères	élévateur à godets	soudure	0	2	non
1967	son de riz	usine d'extraction d'huile de grain	soudure	2	6	oui
1968	céréales fourragères	goulotte de descente	soudure	0	2	non
1969	lait écrémé	séchoir	soudure	0	4	oui
1969	blé	élévateur à godets	soudure	0	3	oui
1969	blé	cellule de stockage	étincelle électrostatique	0	0	non
1971	soja	goulotte de descente	soudure	0	7	oui
1972	copra	cellule de stockage	étincelle électrostatique	0	0	non
1972	amidon	séchoir	combustion spontanée	0	0	non
1972	amidon	séchoir	échauffement	0	0	non
1973	céréales fourragères (maïs)	cellule de stockage	soudure	1	0	non
1973	céréales fourragères (millet)	élévateur à godets	frottement	0	1	oui
1974	graines de tournesol	broyeur	choc	0	4	non
1974	céréales fourragères	conduites du dépoussiéreur	soudure	0	0	oui
1974	céréales fourragères	élévateur à godets	choc	0	1	non
1975	céréales fourragères	cellule de stockage	soudure	0	1	non
1975	soja	séchoir	combustion spontanée	1	0	non
1975	son de riz	élévateur à godets	découpage au chalumeau	1	2	non
TOTAL				8	47	7

2.5 PAYS-BAS

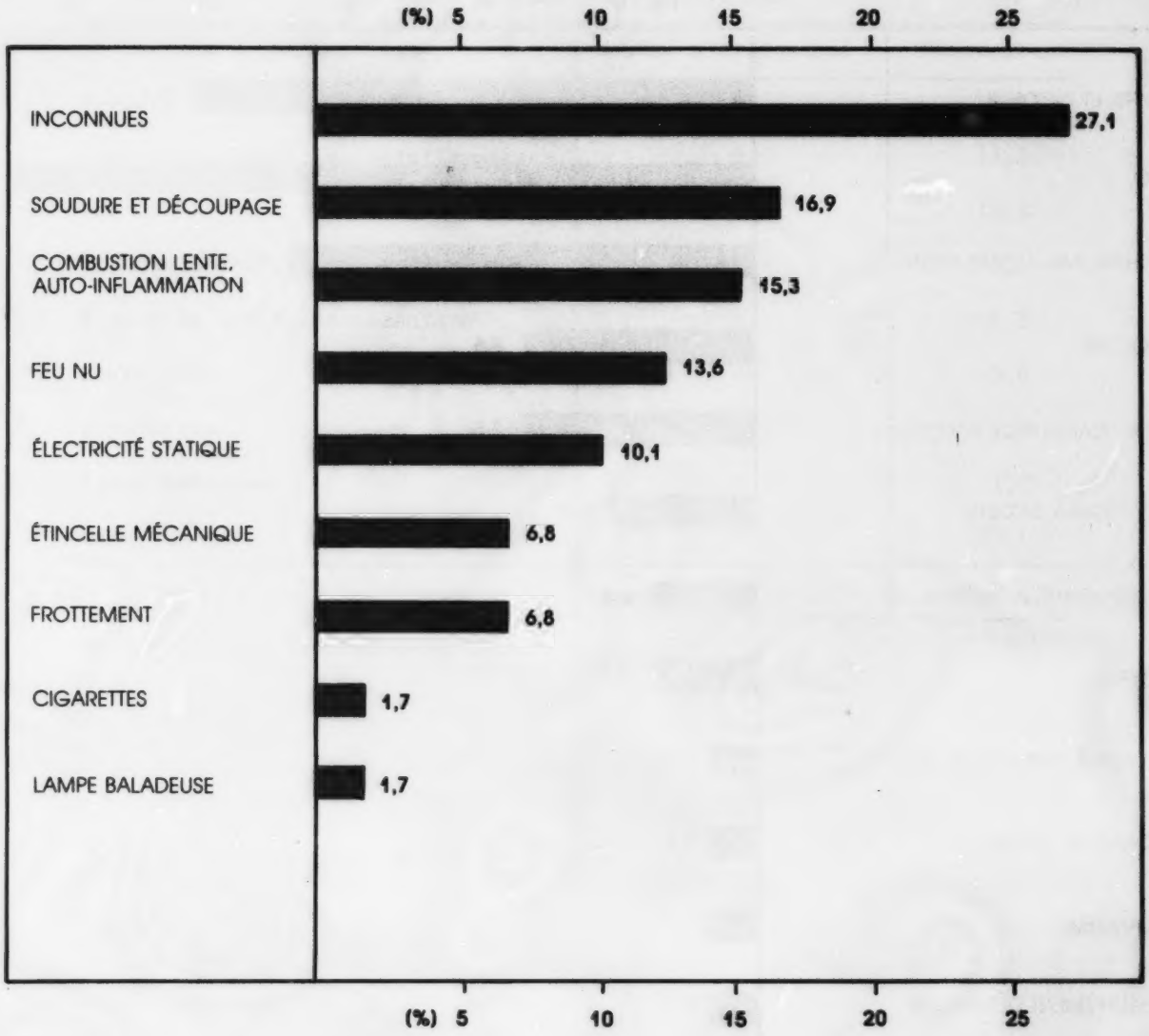
Le gouvernement hollandais estime que ses mesures de sécurité sont généralement supérieures aux normes de l'Administration américaine de l'hygiène et de la sécurité au travail. À son avis l'intervention humaine constitue le centre névralgique de la plupart des problèmes de sécurité au travail. Les autorités hollandaises espèrent éliminer éventuellement la diffusion marginale et peu fiable des programmes de formation qui prévaut dans l'industrie privée de manutention du grain; elles reconnaissent néamoins une lacune évidente quant aux manuels de formation. Outre leur travail d'éducation auprès du personnel de gestion et de la main-d'oeuvre, les inspecteurs s'occupent principalement des problèmes que posent la concentration de poussière et les sources d'inflammation.

A. Accidents

Au cours de la période allant de 1971 à 1980, 59 explosions dues aux poussières de grains ont été signalées. Ce n'est que dans 27 pour cent des cas que l'on n'a pas pu identifier la cause précise de l'explosion, comparativement à 45 pour cent dans les autres pays. Ce pourcentage révèle bien l'efficacité des efforts entrepris au cours des années pour déterminer l'origine des explosions de poussière. Les tableaux ci-après indiquent que les sources principales d'inflammation sont d'abord la soudure et l'utilisation de lampes baladeuses, puis le frottement et les étincelles électriques. Quant aux appareils les plus souvent associés aux explosions dans les silos des Pays-Bas, mentionnons la trémie et l'élévateur à godets ainsi que les filtres anti-poussières, le mélangeur, le séchoir et enfin le convoyeur à vis sans fin.

GRAPHIQUE 2

RÉPARTITION DES SOURCES D'INFLAMMATION AUX PAYS-BAS (%)



GRAPHIQUE 3

RÉPARTITION DU MATÉRIEL ASSOCIÉ AUX EXPLOSIONS (%), 1971 À 1980, PAYS-BAS

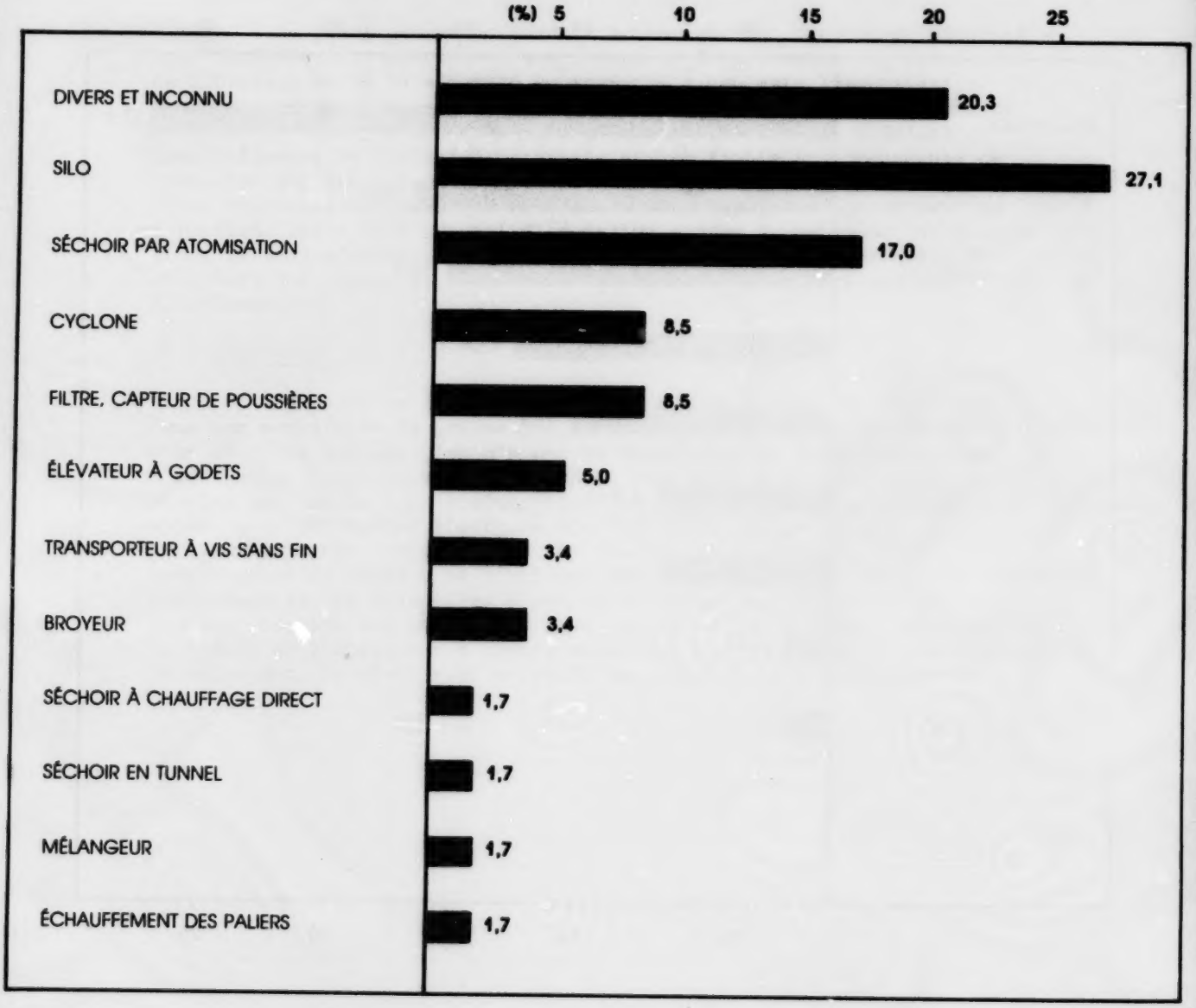


Tableau 12

Source d'inflammation*, Pays-Bas

Sources d'inflammation	Nombre d'explosions	Pourcentage
Soudure et découpage	10	16,9
Combustion lente, auto-inflammation	9	15,3
Feu nu	8	13,6
Électricité statique	6	10,1
Étincelle d'origine mécanique	4	6,8
Frottement	4	6,8
Cigarettes	1	1,7
Lampe baladeuse	1	1,7
Inconnue	16	27,1
TOTAL	59	100,0

*prins maurits laboratorium tno.

Tableau 13

Matériel associé aux explosions*, Pays-Bas

Matériel	Nombre d'explosions	Pourcentage
Silo	16	27,1
Séchoir par atomisation	10	17,0
Cyclone	5	8,5
Filtre, capteur de poussières	5	8,5
Élévateur à godets	3	5,0
Convoyeur à vis sans fin	2	3,4
Broyeur	2	3,4
Séchoir à chauffage direct	1	1,7
Séchoir en tunnel	1	1,7
Mélangeur	1	1,7
Échauffement des roulements	1	1,7
Divers et inconnu	12	20,3
TOTAL	59	100,0

*prins maurits laboratorium tno.

Tableau 14

Statistiques : explosions de poussière aux Pays-Bas (de 1971 à 1980)

Année	Total des Explosions	SECTEUR DE L'INDUSTRIE					
		Laiterie	Production de fourrage	Amidonnerie	Manutention du grain	Bois	Autres
1971	1			1			
1972	3		1	1	1		
1973	8		3	2		3	
1974	4	1	1			2	
1975	2				1	1	
1976	9		1		1	3	4
1977	8	1		3	1	1	2
1978	10	2	1		1	4	2
1979	4	1					3
1980	10	2	2			5	1

*prins maurits laboratorium tno.

Tableau 15

Nombre d'explosions par secteur d'industrie*

Secteur de l'industrie	Total des explosions de 1971 à 1980	Pourcentage
Laiterie	7	11,9
Production de fourrage	9	15,2
Amidonnerie	7	11,9
Manutention du grain	5	8,5
Bois	19	32,2
Autres	12	20,3
TOTAL	59	100,0

*prins maurits laboratorium tno.

Tableau 16(a)

Données sur l'industrie fourragère, 1979*, Pays-Bas

	Nombre de travailleurs par élévateur		Total
	de 10 à 49	50	
Nombre d'élévateurs	146	56	202
Nombre de travailleurs	2 946	8 732	11 678

Tableau 16(b)

Données sur l'industrie de manutention du grain
1981, Pays-Bas

Nombre total de silos à grains (béton)	11**
Nombre total de travailleurs	inconnu

*Seuls les plus importants silos portuaires (importation) ont été retenus.

**prins maurits laboratorium tno.

B. Mesures de prévention

- tous les raccords, ouvertures aux fins d'inspection, portes coulissantes et autres puits d'accès doivent être le plus étanche possible à la poussière et régulièrement inspectés par le biais d'un programme d'entretien approprié;

- l'équipement doit, dans la mesure du possible, fonctionner à une pression légèrement faible de sorte qu'aucune poussière ne soit évacuée à l'extérieur;

- il est recommandé d'appliquer une pression légèrement faible lorsqu'il faut enfermer certains appareils dans un caisson ou un bâti, par exemple les trémies à bascule.

Certaines mesures de prévention s'appliquent plus particulièrement au matériel, notamment :

- Il est préférable que les couvercles des trémies et des réservoirs de stockage soient fermés pour empêcher la propagation de la poussière.

- Dans le cas des séchoirs à chauffage direct, les seuls travaux permis dans la salle du séchoir sont le remplissage et le déchargement.

- Le déversement d'amidon doit de préférence s'effectuer au-dessous de capots d'aspiration ignifugés de manière à limiter la dispersion des poussières.

- La prise d'air des séchoirs doit être munie d'un crible pour empêcher l'entrée de balles, pailles ou autres déchets.

- Les séchoirs à chauffage direct ne doivent être utilisés que si l'air nécessaire à la combustion est filtré.

- Les séchoirs, les conduites, etc. doivent être construits de manière à réduire au minimum les dépôts de poussières.

- Il est important que le transporteur à vis sans fin soit enfermé dans un bâti ou une gaine étanche pour prévenir les dépôts de poussière.

- Il est recommandé de passer un aspirateur sur les appareils de nettoyage et les épointeuses (par exemple pour l'avoine), s'ils ne sont pas étanches à la poussière.

C. Méthodes d'élimination des poussières

Toutes les industries de ce secteur doivent d'abord et avant tout disposer d'un programme d'entretien approprié. Aussi, est-il important que soient régulièrement époussetés les planchers et autres surfaces en cours de travail. On peut utiliser pour cela des aspirateurs à vide ou une installation fixe à vide équipée de boyaux. Dans les deux cas, l'appareil d'aspiration doit être conducteur et muni d'une prise de terre pour prévenir la formation d'une charge électrostatique. Il est également recommandé de vérifier régulierement la résistance des boyaux. Quant à l'aspirateur portatif, il doit être assez résistant pour supporter un milieu poussiéreux. Le moteur, s'il produit des étincelles, doit être bien enfermé pour éliminer toute source d'inflammation des poussières.

La poussière doit également être enlevée des endroits difficilement accessibles. Dans ces cas, l'utilisation d'un système à air comprimé peut comporter des risques puisque la poussière n'est pas aspirée, mais dispersée. Il peut arriver toutefois que ce soit le seul moyen. Le nettoyage à l'aide de balais doit aussi être limité en raison de la dispersion des poussières qui en résulte. Néanmoins, s'il est nécessaire d'y avoir recours, il est préférable d'utiliser des balais souples qui soulèvent beaucoup moins la poussière que les balais durs. Enfin, dans le cas d'une nouvelle construction ou de la réfection des bâtiments exisants, on recommande d'enduire les planchers, plafonds, portes et autres surfaces d'un revêtement lisse. Le système de dépoussiérage doit toujours être logé dans un endroit isolé et sûr.

D. Sources d'inflammation autres que les machines

Dans les pages suivantes sont décrites certaines mesures pour prévenir, autant que possible, la présence de sources d'inflammation autres que les machines.

a) Soudure et découpage

Un nombre important des explosions de poussière survenues aux Pays-Bas ont été occasionnées par des travaux de soudure. Nous insisterons sur les mesures de prévention à appliquer avant, pendant et après de tels travaux.

- Les travaux de soudure ou de découpage devraient, dans la mesure du possible, être effectués dans un atelier ou autre salle qui ne présente aucun risque d'explosion.

- Si les travaux de soudure ou de découpage doivent nécessairement s'effectuer dans la salle des machines, il est nécessaire d'obtenir une autorisation écrite de la direction ou de ses représentants.

Ce permis établit entre autres :

- la date d'émission du permis,

- l'endroit où les travaux sont effectués,

- le jour et l'heure de l'exécution des travaux,

- la nature des travaux,

- les mesures de sécurité,

- le nom du soudeur,

- le nom du surveillant.

Le permis ne doit en aucun cas être de nature générale et il ne peut être émis qu'une fois la personne responsable informée des mesures de sécurité qui ont été prises.

Ces mesures sont décrites ci-après :

- Avant de commencer les travaux, interrompre le fonctionnement des machines et appareils qui se trouvent dans la partie du bâtiment où sont effectués ces travaux de soudure.

- Nettoyer avec soin les machines sur lesquelles sont effectués les travaux de soudure.

- Les étincelles produites lors de la soudure ayant une portée d'environ 10 mètres, les surfaces qui se trouvent à une distance

moindre du lieu de travail doivent être propres de toute poussière.

- Enlever tout matériau combustible à l'intérieur de ce rayon, sinon les recouvrir de couvertures ignifuges.

- Nettoyer le plancher de l'étage au-dessous et arroser les deux planchers d'eau.

- Si le bâtiment est muni d'un système d'alarme automatique, le débrancher seulement à l'endroit où s'effectuent les travaux.

- Le système de gicleurs, s'il y a lieu, doit rester branché tout au long des travaux.

- Protéger la tête d'extincteur avec un écran si les travaux de soudure sont effectués à proximité.

Il est important qu'un employé muni d'un extincteur d'incendie se tienne à proximité. Parce que les lunettes et le masque du soudeur réduisent considérablement son champ de vision et qu'en outre, absorbé par son travail, il peut ne pas remarquer immédiatement tout début d'incendie. De même, les étages supérieurs et inférieurs, s'ils risquent d'être atteints par les étincelles, doivent être équipés d'écrans protecteurs et d'extincteurs d'incendie.

Il est important que les lieux soient soigneusement inspectés, une fois le travail de soudage ou de découpage terminé. Les étincelles de soudage qui se seraient logées dans la poussière peuvent en effet prendre quelques heures avant de s'enflammer. Pour cette raison, il est nécessaire d'inspecter régulièrement les lieux bien après la fin du travail pour s'assurer qu'il n'y a pas de feu qui couve. Les machines ne peuvent être remises en marche que lorsque les surfaces soudées ont refroidi et après une dernière vérification. Les travaux de soudure et de découpage sont souvent donnés à contrat à des entreprises indépendantes. Ces dernières doivent, avant d'effectuer tout travail, prendre connaissance des règlements qui s'appliquent aux lieux où elles doivent entreprendre ces travaux.

Ce dernier point devrait être pratique courante, en particulier si le contractant travaille les fins de semaine. Il doit alors y avoir sur les lieux un gardien de sécurité engagé par l'entreprise.

b) <u>Lampe baladeuse</u>

Un nombre relativement important des explosions de poussière se sont produites parce qu'on avait descendu une lampe baladeuse à l'intérieur de la trémie. Il faut donc interdire formellement cette pratique puisqu'il y a risque de court-circuitage et d'inflammation au contact de la poussière et d'une lampe allumée. Il est particulièrement dangereux d'abaisser la lampe en la tenant par le fil jusqu'à ce qu'elle touche le grain pour mesurer la hauteur du stockage. On peut par exemple

mesurer la hauteur du grain stocké à l'aide d'une corde à plomb marquée de noeuds à chaque mètre.

En guise d'éclairage, on peut utiliser des projecteurs fixés au-dessus de la trémie ou montés sur rails de sorte qu'ils ne risquent pas de tomber à l'intérieur. Les câbles des projecteurs doivent être isolés de façon convenable.

c) Feu nu

Tout feu nu est interdit aux endroits où il y a production de poussière. De même, il est interdit de fumer aux endroits où il peut y avoir risque d'explosion.

d) Frottement

Les risques de frottement peuvent être pratiquement éliminés grâce à un programme d'entretien adéquat et des inspections régulières. À cet égard, il est important d'appliquer les mesures de prévention suivantes :

- Les paliers doivent être lubrifiés avec la graisse appropriée.

- Les essieux de toutes les machines doivent être correctement alignés pour empêcher que les paliers ne s'échauffent par frottement.

- Il faut s'assurer que les appareils actionnés par des câbles en V sont équipés du nombre requis de câbles. Si l'un des câbles doit être remplacé, il faut alors changer tous les câbles afin que la tension demeure égale. Tous les câbles doivent être faits d'un matériau antistatique.

- Les convoyeurs à chaîne ne doivent en aucun cas fonctionner à vide.

  Les élévateurs à godets et les transporteurs doivent être munis de détecteurs de glissement, d'inclinaison et de vitesse.

- Lorsqu'un incendie se produit dans une trémie ou un réservoir de stockage et qu'il faut en vider le contenu, on doit bien comprendre qu'il y a risque d'explosion si la vidange produit trop de poussière.

- Les employées doivent immédiatement prévenir le contremaître de la présence de toute odeur suspecte de brûlé dont on ne peut déterminer la cause précise; toute les machines doivent alors être arrêtées jusqu'à ce que l'on en ait précisé l'origine et que les mesures appropriées aient été prises.

e) Étincelle d'origine mécanique

Avant de procéder au broyage des grains, il est essentiel de bien nettoyer les lieux avoisinants et empêcher ainsi qu'une étincelle

n'entraîne une inflammation des poussières. De plus, il faut protéger de pare-étincelles tous les endroits susceptibles d'être atteints par les jets d'étincelles.

f) Électricité statique

Les charges électrostatique peuvent être éliminées en reliant les pièces de métal à un conducteur électrique mis à la terre. De cette façon, il ne peut y avoir transfert de l'étincelle électrostatique d'une pièce à une autre.

- Il est recommandé de vérifier régulièrement tous les circuits de terre, en particulier à la suite de travaux de construction ou de réparation.

- Les circuits de terre peuvent être interrompus par la présence de matières plastiques, l'obturation des brides de raccordement, le dépôt de couches de graisse, la formation de rouille, la pollution, etc.

- Lorsqu'il y a formation d'électricité statique sur des pièces d'équipement faites d'un matériau non-conducteur, tels les câbles d'entraînement et les clapets de caoutchouc, il est préférable de les remplacer par des pièces en caoutchouc antistatique. Les câbles d'entraînement et les câbles en V peuvent être munis de cames mises à la terre.

- Toutes les pièces de métal situées à proximité d'objets non-conducteurs doivent être mises à la terre, sinon, les charges électrostatiques des pièces de métal risquent de devenir trop élevées et présenter ainsi un danger.

- Les élévateurs et autres machines devraient être munis d'électromètres à la terre afin d'éliminer l'électricité statique.

- Le matériel utilisé pour le chargement et le déchargement, à savoir les camions, le réservoir de stockage, le tube de raccord, le moteur, le compresseur, etc., devrait être raccordé à un conducteur électrique et une prise de terre. Il est en outre important que le camion de transport en vrac soit mis à la terre avant de le raccorder au tube. Une chaîne qui pend à l'arrière des camions en guise de prise de terre est inappropriée puisque l'efficacité de la prise est fonction de l'humidité à la surface des routes.

  Les tuyaux de raccord devraient être nervurés de manière à maximiser leur pouvoir conducteur. Il est recommandé de plus de vérifier périodiquement la résistance des tuyaux, particulièrement après des réparations.

- Plusieurs variétés de farine, particulièrement l'amidon et les produits à base d'amidon, sont sensibles aux charges électrostatiques. Ce phénomène s'applique généralement aux variétés de farine qui ont une résistance électrique de 10^9 ohms ou plus. Les

mesures qui suivent doivent être appliquées pour prévenir tout risque de charge électrostatique :

Lorsque le procédé de fabrication le permet, il est préférable de ne pas trop assécher la farine et de maintenir un taux d'humidité suffisant dans le bâtiment. En effet, une atmosphère dont le taux d'humidité relative est de plus de 50 % permet de réduire sans danger le potentiel de charge électrostatique des surfaces. Pour cela, il est possible d'utiliser un humidificateur.

- Dans les fabriques d'amidon et de dextrine, il est important que l'humidificateur, s'il est de métal, soit correctement mis à la terre. Il en résulte ainsi une augmentation de la conductivité sur les parois de l'équipement, qui permet de réduire rapidement la charge électrostatique de la farine surtout lorsqu'elle est humide. Si l'humidificateur de métal n'était pas raccordé à une prise de terre, on obtiendrait une tension électrique élevée et une capacité électrostatique considérable. Aussi, utilise-t-on souvent des humidificateurs en bois comme solution de rechange. Dans ce cas, et bien que cela puisse paraître étrange, les canalisations d'eau doivent être mises à la terre.

g) Corps étrangers

Il peut arriver qu'au cours du transport ou lors du fonctionnement de machines à grande vitesse, que des particules étrangères (pierres, fragments de métal ou autres objets semblables) produisent des étincelles et engendrent ainsi un feu incandescent dans la masse de grains que l'on doit traiter. Ces particules incandescentes risquent de mettre le feu à la poussière contenue en d'autres endroits (par exemple dans le réservoir de stockage) et provoquer une explosion. Il est donc important que les mesures de prévention qui suivent soient rigoureusement appliquées :

- Des aimants doivent être installés à l'avant des broyeurs à rouleaux, des broyeurs à marteaux ou autres meules pour empêcher l'entrée de tout fragment de métal.

- Ces aimants, qu'ils soient fixes ou électromagnétiques, doivent permettre l'enlèvement adéquat des fragments interceptés.

- Les aimants électromagnétiques doivent être munis de dispositifs de sécurité en cas de panne de l'élément magnétique; ainsi tout fragment métallique qui échapperait serait évacué à l'extérieur et non à l'intérieur de la machine.

- Si la densité du produit céréalier est nettement différente de celle des particules étrangères à éliminer, on peut avoir recours à un séparateur pneumatique. Cette méthode présente toutefois un inconvénient : au contact de l'air chargé de poussière, les corps étrangers risquent de provoquer une explosion.

Dans les nouvelles amidonneries, les gaines et le matériel de même que tous les boulons, sont souvent en acier inoxydable. Les boulons qui se seraient desserrés ne peuvent donc être retenus par les aimants. Il faut alors utiliser un crible s'il s'agit d'un produit en poudre, ou sinon un séparateur pneumatique dans le cas par exemple de céréales séchées en flocons.

E. Mesures de prévention contre les risques d'inflammation associés à l'équipement

Les appareils utilisés dans la plupart des procédés actuels de traitement des céréales et de la farine produisent beaucoup de poussière. Il s'agit là d'une réalité à laquelle on ne peut échapper. La seule mesure préventive consiste à éviter autant que possible les risques d'inflammation de cette poussière dans les appareils. Nous présentons ci-après les mesures préventives qui s'appliquent à diverses machines et appareils afin d'éliminer les sources d'inflammation.

a) Élévateurs à godets

La circulation d'air et le débordement des godets provoquent un dégagement important de poussière à l'intérieur des deux couloirs de l'élévateur. Il est donc nécessaire d'y prévenir toute source possible d'inflammation.

Le frottement qui engendre une hausse de température est sans nul doute la plus importante source d'inflammation dans un élévateur. Si elle est trop élevée, la chaleur engendrée peut provoquer un incendie et entraîner une explosion de poussière. Ce frottement se produit le plus souvent entre la poulie de tête et la courroie transparente, laquelle risque alors de prendre feu et de tomber. Il y aurait donc lieu, pour prévenir le glissement de la courroie sur la poulie d'entraînement, de munir l'élévateur d'un dispositif qui arrêterait automatiquement le système si la vitesse des courroies devait ralentir. À cet effet, on peut fixer un " indicateur de vitesse " sur la poulie inférieure de l'élévateur à godets.

b) Broyeur et meules

Tous les appareils servant à broyer et à moudre doivent être équipés de séparateurs magnétiques pour empêcher l'entrée de tout fragment de métal.

Plus particulièrement, les broyeurs à marteaux doivent être inspectés et vérifiés régulièrement pour prévenir tout bris des marteaux ou des plaques de broyage par suite d'usure. En cas de bris, les fragments pourraient produire des étincelles et mettre feu au mélange explosif de poussière.

c) Réseau d'aspiration des poussières

Toutes les gaines du réseau doivent être raccordées à une prise de terre pour prévenir les charges électrostatiques. Les raccords

flexibles sont munis d'un câble de prise de terre permanent dont la résistance n'excède pas 100 000 ohms.

d) Séchoirs à chauffage direct

Il est important que les séchoirs soient munis de dispositifs de sécurité pour prévenir toute incandescence ou combustion en cours de séchage. À cet effet, les séchoirs peuvent être équipés de régulateurs thermiques ou de thermostats qui coupent automatiquement l'apport de chaleur lorsque la température du séchoir est trop élevée.

La construction des séchoirs, des conduits, etc. doit être telle que la température à leur surface demeure suffisamment basse pour ne pas chauffer les dépôts de poussière jusqu'à incandescence.

Il est de plus recommandé d'inspecter et de nettoyer régulièrement les séchoirs dans lesquels on fait généralement sécher les produits oléagineux. De fait, la mince couche d'huile qui se dépose sur les parois intérieures du séchoir risque de prendre feu spontanément à une température élevée.

Enfin, il est préférable qu'à leur sortie des séchoirs, les grains puissent refroidir suffisamment avant d'être stockés dans les trémies. Plus la température du grain est élevée, plus grands sont les risques d'échauffement spontané ou d'auto-inflammation.

e) Système de ventilation

Si le produit traité a tendance à coller au rotor et au coffre du système, il est conseillé de nettoyer régulièrement ces éléments pour prévenir tout frottement ou augmentation de température.

Les ventilateurs axiaux destinés à traiter un flux d'air poussiéreux doivent être conformes aux normes prévues pour les environnements dangereux comportant des risques d'explosion de poussière.

Enfin, il est recommandé de refroidir les moteurs du ventilateur axial par voie indirecte.

f) Transporteur à vis sans fin

Les transporteurs à vis sans fin et les convoyeurs à chaîne ne doivent jamais fonctionner trop longtemps à vide. Les courroies pourraient alors s'échauffer par suite d'un frottement prolongé, et atteindre un point d'auto-inflammation.

g) Éclairage

Toutes les sources d'éclairage doivent être étanches à la poussière, à savoir les lampes à incandescence, les lampes fluorescentes et les lampes à vapeur de sodium.

Les lampes à incandescence et les lampes à vapeur de sodium dépourvues de gaines de protection sont dangereuses parce que la poussière qui s'y dépose risque d'être chauffée à incandescence si la surface des lampes est très chaude. Les lampes fluorescentes doivent également être enfermées dans un boîtier pour éviter que les étincelles produites au moment de l'induction ne mettent le feu au mélange d'air poussiéreux. Cette mesure de prévention s'applique également aux lampes à vapeur de sodium.

Les lampes à incandescence et les lampes à vapeur de sodium peuvent être fixées au plafond ou au mur s'ils sont construits de matériaux incombustibles tels le béton et la pierre. Sinon, il est conseillé de les fixer à 20 mm au moins du plafond ou des murs.

h) Équipement électrique

On recommande si possible de loger l'équipement électrique dans des lieux dépourvus de poussière tels que les salles de contrôle, les cabines ou les caisses. Ces endroits doivent être dotés d'un système de filtration de l'air éliminant tout danger de surpression pour assurer l'absence de poussière. Par contre, si l'on doit installer l'équipement électrique dans des endroits poussiéreux, il faut s'assurer que tous les appareils sont libres de poussière, en les enfermant, par exemple, dans des coffres. La température à la surface des coffres doit demeurer la plus basse possible pour éviter que les dépôts de poussière ne soient portées à incandescence.

L'équipement électrique situé dans des endroits où peuvent se produire des explosions doit être conforme à la norme NEN 1010. Toutefois, il est à remarquer que cette norme concerne les mesures préventives contre les explosions de gaz et ne s'applique pas spécifiquement à la prévention des explosions de poussière.

l) Nettoyeur

Les nettoyeurs et les épointeuses doivent être équipés d'aimants permettant d'intercepter les fragments de métal. Les pierres doivent également être retirées.

F. Mesures visant à limiter les effets et la propagation d'une explosion de poussière

Le couvercle de la trémie ainsi que le toit doivent être de construction aussi légère que possible de manière à céder facilement en cas d'explosion.

Les électrofiltres secs sont enfermés dans un boîtier et logés dans une salle distincte. Cette salle est construite de telle sorte que le mur extérieur puisse s'affaisser et prévenir ainsi la propagation de l'explosion à la salle des machines.

Il est recommandé de ne pas utiliser les filtres à découvert, dépourvus de boîtier. Lors d'une explosion, le filtre pourrait en effet éclater sous l'effet de la pression engendrée, laissant échapper une grande quantité de poussières; la présence des flammes pourrait alors provoquer une seconde explosion.

Il est préférable de nettoyer séparément chacune des machines avec des aspirateurs indépendants plutôt que par un réseau central d'aspiration. En effet, en raison des nombreux raccords nécessaires à un système central, l'explosion risque de se propager dans toutes les directions.

G. Incendie

Il est essentiel que la direction et les employés élaborent conjointement un programme permanent de prévention des incendies et des explosions. Un agent de sécurité devrait toujours surveiller la mise en place d'un tel programme. Ce programme devrait en outre prévoir des directives à l'intention des nouveaux employés, notamment sur les dangers, les mesures préventives à appliquer et sur l'utilisation adéquate du matériel approprié tel que les extincteurs d'incendie. Il est enfin recommandé d'organiser régulièrement des séances de récapitulation des mesures préventives.

La température à l'intérieur des élévateurs à grains doit être continuellement vérifiée à l'aide du thermomètre électronique qui y est fixé. La température des pièces mobiles de la machine doit être indiquée par une bande prévue à cet effet. Un avertisseur d'incendie, un extincteur, des bouches d'incendie et des boyaux, etc., doivent être placés à chaque étage.

Des équipes d'intervention doivent être formées et elles doivent effectuer régulièrement des tournées d'inspection et de contrôle.

Il faut vérifier périodiquement les extincteurs d'incendie et tout autre matériel de lutte contre l'incendie.

Les employés doivent connaître l'emplacement de tous les extincteurs. En cas d'incendie, les mesures suivantes doivent être prises :

1. Couper immédiatement le courant.

2. Éviter autant que possible de disperser la poussière; en conséquence, ne pas arroser la poussière d'un jet d'eau concentré; si la poussière prend feu, la couvrir d'abord de gaz carbonique.

3. Inspecter soigneusement les lieux une fois l'incendie éteint, pour s'assurer qu'il ne reste plus aucun danger de réactivation.

4. Ne rétablir le courant qu'une fois tout danger résolument écarté.

2.6 AFRIQUE DU SUD

La production de grains en Afrique du Sud se concentre sur un plateau, le Highveld, situé au sud du Tropique du Capricorne. On y trouve environ 200 silos à grains.

A. Accidents

On ne rapporte que trois explosions sans gravité, produites dans des élévateurs à godets à cause de paliers échauffés ou à la suite d'accidents reliés à la soudure. L'Afrique du Sud a connu si peu d'accidents dus aux poussières que la question n'a pas particulièrement retenu l'attention.

B. Mesures de prévention

La plupart des silos sont de conception moderne. Les silos types consistent en cellules de stockage indépendantes, en béton de 15 m de diamètre dont le dessous est fait d'une demi-trémie et qui sont pourvues de couloirs de récupération. La tour de travail comprend ordinairement des cellules de 7,5 m de diamètre recouvertes de tôles. Les portiques sont maintenant construits avec des planchers grillagés, mais beaucoup de vieux silos ont des portiques tout à fait clos.

Les silos servent essentiellement d'entrepôts, c'est-à-dire qu'on les remplit rarement plus qu'une fois par saison de récolte. Les salles de travail sont bien ventilées. Les couloirs de récupération sont pourvus de ventilateurs d'extraction à haute capacité; par conséquent dans ces locaux, l'air ambiant a probablement les mêmes caractéristiques qu'à l'extérieur.

Le maïs et le blé sont déchargés à l'état brut des moissonneuses-batteuses, et bien qu'on utilise fréquemment des pré-nettoyeurs, le maïs est encore stocké à l'état naturel dans beaucoup de silos et nettoyé uniquement sur demande. Le blé est toujours nettoyé avant d'être déchargé dans les cellules de stockage.

Le remplissage se fait assez lentement - environ 150 t/h par convoyeur à courroie avec élévateurs à godets ou autre machine appropriée. En général, on se sert de deux ou trois appareils à la fois, ce qui porte le débit entre 300 et 450 t/h.

On utilise beaucoup plus les convoyeurs à courroie que ceux à chaîne. Jusqu'à maintenant, on a employé des godets d'acier pour les élévateurs à godets; on songe actuellement à utiliser des godets en fibre de verre.

2.7 SUÈDE

A. Accidents

Pour les cinq dernières années, le Conseil national d'hygiène et de sécurité au travail de Suède ne rapporte qu'une explosion de poussière au cours de la manutention de grains et de fourrages dans les élévateurs. Cette explosion, survenue dans un silo de stockage pour les fourrages, n'a fait aucun blessé. Le Conseil juge que les règlements sur la sécurité, en ce qui a trait aux incendies et à l'appareillage électrique, sont bien respectés dans les établissements agricoles. On se sert généralement de dispositifs d'aération pour la manutention et le stockage des grains. Ainsi, la limite inférieure d'explosivité est rarement dépassée. Les poussières contenues dans le mélange d'air aspiré sont séparées plus tard à l'aide de filtres. On utilise ensuite cette fine poussière de grains pour l'alimentation manufacturée du bétail.

Deux incendies importants, qui ont causé des morts et des dommages matériels sérieux, se sont produits dans de grands silos au cours des dernières années. On rapporte plusieurs cas d'effondrements de cellules de stockage mal construites, qui ont occasionné des pertes de vie. Le Conseil fait partie d'un comité d'étude mis sur pied pour examiner divers problèmes, y compris ceux qui se rapportent aux dimensions des unités.

On dénombre plusieurs cas de la maladie du poumon de fermier reliés à la manutention de grains moisis. Le cas le plus percutant est survenu dans une école d'agriculture où un instructeur et dix étudiants au moins furent hospitalisés. Dans un autre cas, la gravité des dommages au poumon a nécessité des soins avec un poumon artificiel.

D'autres genres d'accidents en rapport avec l'entreposage et la distribution des grains se sont aussi produits au sein du secteur agricole.

B. Mesures de prévention contre les explosions de poussière de grains

1. Les élévateurs doivent être à l'épreuve des poussières ou suffisamment protégés pour que la poussière ne puisse s'en échapper pendant leur fonctionnement; sinon, ils doivent être pourvus de systèmes de ventilation efficaces. Éviter les trémies, etc., où s'accumulent inutilement la poussière. En outre, les élévateurs doivent être situés et protégés de manière à réduire au minimum la circulation de la poussière entre les endroits qu'ils relient. Les caissons protecteurs doivent être faits de matériaux ininflammables ou, au moins, posséder un revêtement à l'épreuve du feu.

2. Les élévateurs doivent être pourvus d'évents de décompression. On peut passer outre cette précaution, cependant, si l'appareil est conçu pour résister aux pressions des explosions, ou s'il est installé de sorte qu'une explosion de poussière ne comporte aucun risque pour les employés.

3. Les élévateurs doivent être pourvus de trappes pour le nettoyage et l'inspection, situées à des endroits appropriés.

4. Les élévateurs doivent être construits et installés de façon à faciliter l'entretien, l'inspection et le nettoyage. Ils doivent être constamment vérifiés et gardés en bon état.

5. Les élévateurs doivent être construits et installé de façon à réduire au minimum les risques qu'un incendie se déclare et se propage.

6. Les élévateurs doivent être pourvus d'un coupe-circuit placé de manière à pouvoir les arrêter facilement s'il y a risque de feu ou d'explosion. La sortie principale d'une installation doit aussi comprendre un dispositif permettant d'arrêter toutes les machines, les ventilateurs, etc.

7. Prévenir l'accumulation d'électricité statique en assurant la mise à la masse des pièces conductrices du silo et leur mise à la terre par un câble ou un fil d'au moins 16 mm^2 de section transversale.

2.8 U.R.S.S.

Environ 1000 silos fonctionnent actuellement dans tout le pays.

A. Accidents

On signale simplement que " de récentes explosions de poussières dans les silos à grains, présentant de sérieuses menaces pour la santé et causant des pertes de vies humaines, ont attiré l'attention des organisations administratives et commerciales ".

a) Causes

Les sources d'inflammation peuvent se diviser en deux catégories : les sources " occasionnelles " et les sources " permanentes ". Les inflammations occasionnelles comprennent les courts-circuits dans le filage, l'auto-inflammation de différents matériaux, l'échauffement des pièces des appareils dû au frottement, la foudre, les décharges d'électricité statique et les chocs d'objets solides. Les sources permanentes sont : la soudure à l'électricité et au gaz, les radiateurs électriques, les garnitures d'éclairage non protégées, les cigarettes, l'usage de chalumeaux, etc. Cette deuxième catégorie compte pour 40 pour cent de toutes les causes d'accidents. L'auto-inflammation des produits est la cause d'explosion la plus fréquente dans les cellules de stockage des silos.

B. Mesures de prévention

On peut réduire les explosions dûs aux sources " occasionnelles " en prenant les précautions suivantes:

- retirer les câbles des endroits où des explosions risquent de survenir;
- installer un système d'alarme automatique sensible au degré de chaleur des pièces en caoutchouc de la machinerie;
- poser un paratonnerre;
- mettre à la terre les sources d'électricité statique;
- utiliser des matériaux qui n'engendrent pas d'étincelles dans les endroits où des chocs peuvent se produire.

On peut éliminer les sources permanentes par la formation des ouvriers.

Les enquêtes sur les explosions ont révélé que plus les surfaces des silos sont reliées entre elles, plus le risque de destruction est élevé.

Afin d'éviter les explosions et les incendies dans les silos à grains, on adopte actuellement un ensemble de méthodes techniques et d'aménagement, fournies par les normes de construction et les mesures de prévention contre les incendies. Les pièces qui forment la charpente des

bâtiments doivent être en matériaux ininflammables. Des soupapes automatiques pour les courroies transporteuses doivent être posées dans les ouvertures des parois ininflammables.

Afin de diminuer la quantité de réparations à effectuer à l'intérieur des bâtiments, on doit prévoir des locaux pour désassembler les pièces des paliers, goulettes et des caissons protecteurs.

Il est défendu de faire de la soudure sur des appareils en marche.

On prévoit installer un système qui avertira les opérateurs s'il y a risque d'explosion. Ce système comprendra des détecteurs permettant de contrôler les accumulations de poussière dans les salles de tranformation et des détecteurs de chaleur pour les sources possibles d'inflammation; il assurera le réglage de la température des parties indépendantes des appareils techniques, ou il comprendra des détecteurs sensibles au monoxyde de carbone et qui signalent la possibilité d'inflammation ou d'auto-inflammation dans les accumulations de grains et de poussière.

La poussière doit être stockée dans des cellules à l'extérieur des salles de transformation et des cellules de stockage.

On étudie actuellement la possibilité de répartir le volume total du silo en plusieurs bâtiments isolés d'où les explosions pourront se dégager indépendamment.

Voici les caractéristiques des mesures de prévention contre les explosions de poussière dans les silos à grains :

- conception adéquate de systèmes de décompression dans la machinerie et le matériel;
- système d'aspirateur de poussière dans les salles de travail;
- mesures de détection des explosions survenant dans le plus petit espace possible du bâtiment;
- vannage des grains dans les séparateurs pour en dégager la poussière lorsqu'ils tombent en vrac dans les réservoirs ou les cellules de stockage.

2.9 ROYAUME-UNI

Le tableau ci-dessous indique la quantité de grain manutentionnée et distribuée au Royaume-Uni (en millions de tonnes).

	Grain importé	Grain local
1976-1977	8,9	10,9
1975-1976	8,4	11,6
1974-1975	7,1	13,1

Chaque période de 12 mois commence en juillet. Le plus grand entrepôt à grains du Royaume-Uni a une capacité de 180 000 tonnes.

A. Historique des explosions

(L'Irlande du Nord n'est pas comprise dans l'information qui suit).

D'après les dossiers des années 1958 à 1977, une seule explosion s'est produite dans des locaux réservés à la manutention et au stockage des grains. Un élévateur à godets a explosé en 1959, probablement à cause d'une lampe à accumulateur de plomb introduite dans l'élévateur en question; l'accident n'a pas provoqué d'autres explosions et, semble-t-il, n'a occasionné aucune blessure.

Cependant au cours de ces 20 mêmes années, neuf explosions et trois incendies se sont produits à d'autres endroits dans du matériel de manutention de grains. Une des explosions eut lieu à la suite d'un incendie dans une malterie mais on ne signale aucune explosion de silo. Quatre des explosions sont survenues dans des usines de produits alimentaires, deux dans des distilleries et une dans une minoterie; deux des incendies se sont produits dans une fabrique de provendes et l'autre dans une malterie (une autre).

L'explosion dans la malterie a fait deux blessés; les explosions dans la distillerie et dans la fabrique de provendes, se sont produites au cours de travaux de soudure dans des élévateurs à godets et ont fait cinq blessés; on ne rapporte aucune blessure ou perte de vie dûs aux autres explosions ou incendies.

Tableau 17

Liste des accidents, (Grande-Bretagne; Irlande du Nord non comprise) de 1958 à 1977

Explosion ou incendie	Fréquence	Endroit	Cause	Morts	Blessés
Explosion	1	Manutention ou stockage des grains	Lampe à accumulateur de plomb	0	0
Explosion	4	Usines de provendes	Une explosion attribuable au soudage	0	5
Explosion	2	Distilleries	Soudure (élévateurs à godets)	0	0
Explosion	1	Minoterie	Inconnue	0	0
Explosion secondaire de poussière à la suite d'un incendie	1	Malterie	Inconnue	0 0	2 0
Explosion	1	Matériel de manutention des grains	Inconnue	0	0
Incendie	2	Fabrique de provendes	Inconnue	0	0
Incendie	1	Malterie	Inconnue	0	0

B. Précautions

Ces données indiquent que les risques d'explosion de poussière dans les installations réservées à la manutention et au stockage des grains sont plutôt faibles; c'est pourquoi on ne prévoit pas pourvoir les installations déjà existantes de systèmes de décompression en cas d'explosion. On en recommande toutefois l'installation dans les nouvelles entreprises. En outre, on insiste beaucoup sur l'importance d'éviter les accumulations de poussière dans les espaces restreints au cours du stockage et de la manutention des grains. On recommande également d'installer un système de décompression sur les nouveaux et les anciens dépoussiéreurs.

Pour l'appareillage électrique, on recommande simplement qu'il soit à l'épreuve des poussières inflammables; cependant, il n'existe actuellement aucune norme pour ce genre de dispositif. Toutefois le British Standards Institution est à mettre au point ces normes qui seront

à suivre en fonction des endroits. Ces normes seront probablement semblables aux normes américaines mentionnées dans le Hazard Alert du 5 janvier 1978 du gouvernement des États-Unis.

C. Règlements

Il n'existe pas de règlements précis sur la prévention des explosions au cours de la manutention et du stockage des grains. Toutefois, ces opérations sont soumises aux règlements généraux de la Loi sur l'hygiène et la sécurité au travail (1974) qui obligent chaque employeur à assurer, dans la mesure du possible, la sécurité au travail de tous ses employés (paragraphe 2), de même qu'à toute autre personne exposée à des risques sur les lieux de travail (paragraphe 3). Le paragraphe 6 de la Loi attribue des responsabilités à ceux qui conçoivent, fabriquent, importent ou fournissent des produits pour les installations en question, de même qu'aux constructeurs et aux monteurs, afin que le matériel soit sûr lorsqu'il est utilisé adéquatement.

En général, on peut conclure que, même si la possibilité d'une explosion de poussière grave existe, les risques sont beaucoup plus faibles dans ce pays qu'aux États-Unis où on a pris conscience du danger et où on connaît, depuis de nombreuses années, les précautions à prendre.

D. Risques pour la santé

En Grande-Bretagne, la maladie du poumon de fermier est la plus répandue des maladies industrielles causées par les poussières d'origine agricole. Cette allergie est issue de la manutention de foin, paille ou grains poussiéreux au cours de l'alimentation et des soins au bétail, ou lors du moulage et de la préparation de leur nourriture. Quant aux dangers dûs à la fumigation, on ne rapporte qu'un cas d'asphyxie depuis 1975 dans les silos à grains; l'accident ne fut pas mortel et le fumigateur utilisé était un composé de phosphines. Les autres dangers pour la santé, non mentionnés dans la Loi sur la sécurité et l'hygiène au travail comprennent : la maladie causée par les métabolites des grains (y compris les maladies des voies respiratoires) et les dangers liés à la pollution de l'environnement et à l'intoxication au gaz carbonique.

La Loi sur l'hygiène et la sécurité au travail oblige les employeurs à assurer la santé, le bien-être et la sécurité de leurs employés dans les limites raisonnables. Ils doivent donc fournir un bon éclairage, un système de dépoussiérage et des salles de bains. Les inspecteurs de l'hygiène et de la sécurité informent régulièrement les fermiers et autres employés des dangers pour la santé, de même que des risques d'explosion que comporte le travail dans des endroits poussiéreux. Dans les deux cas, on conseille de prendre des précautions semblables : réduire au minimum les dégagements de poussière, éliminer régulièrement les accumulations de poussière et, au besoin, installer des ventilateurs d'extraction, etc. Il n'existe pas de règlements exigeant le port de masques protecteurs pour les employés qui travaillent dans des endroits où s'accumulent des poussières d'origine végétale; cependant, on

leur suggère toujours de porter des respirateurs conçus selon la norme britannique BS 2091 et pourvus d'un filtre de type " B ". Cette norme de prévention réduit les risques d'infection dûs à la maladie du poumon de fermier.

Au cours des années 1958 à 1977, il ne s'est produit qu'une seule explosion dans des locaux réservés à la manutention et au stockage des grains. Neuf explosions et trois incendies eurent lieu à d'autres endroits dans du matériel de manutention de grains. Il n'y a eu aucun mort.

E. Mesures de prévention

Bien qu'une conception adéquate puisse réduire au minimum la probabilité qu'un nuage de poussière soit exposé à une source d'inflammation, elle ne peut la ramener à zéro. On doit donc avoir recours à des méthodes visant à prévenir les explosions.

Les principales méthodes sont les suivantes :

- la réduction de la formation de nuages de poussière;
- la résistance à la pression;
- la séparation des unités les unes des autres;
- les évents de décompression;
- l'utilisation de gaz inertes;
- les extincteurs automatiques;

a) Réduction de la formation de nuages de poussière

Au cours du remplissage d'une grosse cellule ou d'un silo, il est préférable que la poussière ne tombe pas en vrac d'un point élevé, mais qu'elle se déverse lentement par différents orifices latéraux.

On ne doit pas utiliser un silo comme séparateur de poussière dans un convoyeur pneumatique. La séparation doit s'effectuer indépendamment dans un cyclone ou un autre appareil approprié, et la poussière doit se déverser lentement dans le silo. Les unités de l'installation ne doivent pas être trop vastes, afin qu'il n'y ait pas de grands espaces vides contenant de la poussière en suspension. En présence de ventilateurs d'aspiration, la poussière doit être éliminée de l'air aussi vite que possible et ne doit pas être déversée sur une longue distance jusqu'aux séparateurs.

b) Résistance à la pression

D'après ce principe, les bâtiments doivent être suffisamment solides pour résister à la pression maximale d'explosion sans dommages. Dans le cas des grains, cette pression atteint 7 bar (45 kg/cm^2). Ce principe n'est valable que pour les petites installations et ne pourrait s'appliquer aux silos à grains.

c) Séparation des unités

Lorsque les différentes unités d'une installation sont isolées les unes des autres, les risques de propagation sont atténués. Dans les

silos à grains, les diverses unités, telles que les transporteurs et les cellules de stockage, doivent nécessairement être près les unes des autres; le principe ne peut donc s'appliquer. Cependant, il est souvent possible d'isoler les unités où les risques de séparation sont élevés de celles où l'on travaille; mais cette mesure a souvent été négligée par le passé. Dans les établissements en hauteur, les salles de commande et les unités habitées doivent être situées sur les côtés et être éloignées d'une longueur au moins égale à la hauteur du bâtiment.

d) Évents de décompression

Les évents de décompression sont des ouvertures pratiquées dans l'installation ou le bâtiment afin que, si une explosion se produit et que la pression interne augmente, l'augmentation ne dépasse pas une certaine limite prédéterminée en fonction de la solidité de la construction. La pression maximale possible dépend de la surface et de la répartition des évents. Si possible, on placera les évents à proximité des sources probables d'inflammation. Les installations très vastes nécessitent un grand nombre d'évents.

On peut se procurer des renseignements au sujet de la superficie des évents exigée (NFPA, 1974; Palmer 1977). La publication du NFPA traite des systèmes d'évents utilisés pour les explosions de poussière dans les réservoirs et se rapporte directement aux cellules de stockage et aux silos, de même qu'aux dépoussiéreurs dans les silos à grains. Les données de cette publication sont basées sur des expériences réalisées dans des réservoirs dont le volume peut atteindre 60 m^3, mais il faut extrapoler dans le cas de volumes plus importants. On manque de renseignements explicites; cependant pour les vastes cellules de forme allongée (rapport hauteur/diamètre atteignant jusqu'à six), il y a avantage à ce que les évents occupent la moitié de la surface du dessus de la cellule (Palmer 1977).

À cause du mouvement des godets, un nuage de poussière risque de se former dans les couloirs des élévateurs à godets; une inflammation reliée au frottement ou à un choc peut aussi se produire. Les évents de décompression, dont la surface égale celle de la coupe transversale du couloir, doivent être installés à l'entrée et à la sortie, et si le couloir mesure plus de 12 m de long, ils doivent être espacés de 6 m dans le caisson. Les couloirs doivent être montés à l'extérieur du bâtiment. On recommande une répartition semblable des évents pour les transporteurs; la poussière n'est peut-être pas toujours en suspension, mais il se peut qu'il y en ait une quantité suffisante à l'intérieur pour déclencher une explosion secondaire pouvant se propager avec une violence croissante tout le long du transporteur, à moins qu'on ait installé des systèmes de protection contre les explosions.

Puisque la fonction de ces évents est d'évacuer la fumée et les poussières enflammées, il est très important que l'élimination des produits de l'explosion se fasse dans des conditions sûres. Ces derniers doivent être déchargés loin des zones habitées ou des installations voisines. Il n'est pas souhaitable que les évents de décompression se libèrent à l'intérieur des bâtiments.

e) Utilisation de gaz inertes

Par l'introduction continue d'un gaz inerte au cours des opérations normales dans l'établissement où l'on manipule des poussières, la concentration d'oxygène peut alors être abaissée au point où aucune explosion ne se déclenchera, même en présence d'une source d'inflammation. On utilise souvent l'azote ou le gaz carbonique. En général on ne peut avoir recours à ce procédé dans les silos à grains à cause des dimensions vastes des compartiments, de la nécessité de contrôler avec exactitude la composition des gaz à de nombreux endroits et celle d'avoir accès à une réserve suffisante de gaz inerte. Le procédé est avantageux, soit lorsque l'air ambiant dans l'établissement peut être recyclé avec perte minimale, soit lorsque d'abondantes réserves de gaz inerte sont disponibles sous forme de sous-produits. Ce n'est pas le cas des silos à grains; l'utilisation de gaz inertes peut se révéler avantageuse dans certaines situations précises dans des unités particulières relativement petites.

f) Extincteurs automatiques

Lorsqu'un nuage de poussière prend feu, la flamme se déplace d'abord assez lentement et l'augmentation initiale de pression peut être détectée rapidement; un agent extincteur peut alors être injecté dans le compartiment avant que la pression n'atteigne un degré dangereux. Il existe des systèmes qui peuvent être avantageux pour certaines parties, du moins, des élévateurs, par exemple les couloirs. Les systèmes doivent être installés par des spécialistes, sous la surveillance du fournisseur.

Il est donc clair, en ce qui concerne la prévention des explosions dans les silos à grains, qu'on ne peut atteindre un degré de sécurité satisfaisant en tentant d'éliminer les sources d'inflammation ou en évitant la présence de poussières. Il est impossible de respecter totalement ces mesures préventives car ces circonstances font partie des conditions normales de travail. Toutefois les élévateurs devraient être construits de manière à réduire les sources d'inflammation et la présence de poussière; mais cela ne procure qu'une protection partielle. C'est pourquoi il est nécessaire d'adopter des mesures de prévention additionnelles; on a le plus souvent recours aux évents de décompression.

Les exigences relatives au système d'évents pour les unités servant au dépoussiérage, telles que les filtres et les cyclones, ont déjà été traitées à fond (NMPA 1974). Selon le code, la conception du couvercle de l'évent est particulièrement importante; en outre, il est essentiel que la flamme et les produits de combustion qui s'échappent des évents n'occasionnent aucun dommage. Le code donne des recommandations sur ces deux questions.

Les parties des élévateurs qui servent au transport et au stockage des grains méritent une attention particulière. Les poussières se dégageant des grains représentent un plus grand risque d'explosion que les grains eux-mêmes, ces derniers étant relativement gros. Lorsque l'élévateur fonctionne, les poussières demeurent soit en suspension,

comme dans les élévateurs à godets en raison du mouvement de ces derniers, ou se déposent et demeurent sujettes à se disperser comme dans les transporteurs. Dans les élévateurs à godets et les transporteurs, les explosions risquent de se propager le long des appareils, à cause des nuages de poussières ou parce qu'elles peuvent provoquer des explosions secondaires. On doit donc mettre en place des évents sur toute la longueur des élévateurs à godets et des transporteurs. En règle générale, on prévoit des évents espacés de 6 m, de surface égale à la section transversale de l'élévateur ou du transporteur. Il est préférable d'installer un grand nombre d'évents, particulièrement lorsque les gaines des élévateurs à godets et des transporteurs sont de section carrée ou rectangulaire plutôt que circulaire, car elles sont alors moins solides. On recommande d'utiliser un grand nombre d'évents afin de maintenir la pression, dans les pires conditions, à 0,15 bar (0,9 kg/cm^2); les gaines des élévateurs à godets et des transporteurs doivent pouvoir résister à cette pression.

De façon générale, mais surtout pour les élévateurs et les transporteurs, toutes les parties de la section transversale des unités doivent s'ouvrir sur un évent afin que l'explosion puisse se dégager sans obstruction interne. Les normes du NFPA (NFPA 1973) font mention des exigences relatives aux systèmes d'évents. Bien que la sécurité dans les élévateurs à godets et les transporteurs exige un nombre d'évents assez élevé, cependant on peut aussi en utiliser, pour la même surface totale, un plus grand nombre, plus petits et répartis de façon régulière. Ces derniers sont particulièrement avantageux lorsqu'on prévoit modifier l'établissement existant; les évents de plus grande taille sont probablement plus économiques pour les nouvelles installations.

Les transporteurs souterrains soulèvent un problème particulièrement délicat. Un système d'évents de décompression, qui ne doivent pas s'ouvrir sur des cellules ou des silos, y est essentiel. On doit pourvoir les appareils déjà existants d'ouvertures à l'air libre et les prévoir dès le départ dans les nouvelles installations. Sans évents dans les transporteurs souterrains, la pression engendrée par une explosion peut déplacer et endommager les cellules ou silos qui se trouvent au-dessus et causer des pertes catastrophiques. Les élévateurs à grains souterrains sans évents représentent une source de problèmes importants qui méritent chacun une étude particulière.

Le dessus des cellules et des silos doit être muni d'évents. Il peut s'avérer difficile de fournir une ouverture adéquate à l'air libre pour la flamme et les produits de combustion. Les exigences sur les évents dans les silos devraient alors être revues, parallèlement à celles sur les transporteurs. D'après les connaissances actuelles, sur les compartiments de grande dimension, la surface des évents ne doit pas être inférieure à la demi-surface du dessus de la cellule ou du silo; il est même préférable qu'elle soit supérieure, surtout si les cellules ou les silos ne sont pas de section circulaire et qu'ils offrent donc peu de résistance. Avec des sections circulaires, on peut facilement atteindre des pressions de 0,15 bar (0,9 kg/cm^2), mais cela peut être plus difficile avec des sections d'une autre forme. Si les élévateurs à godets et les transporteurs sont munis d'évents de décompression qui les

préservent des effets des explosions, la charpente des cellules et des silos est ainsi protégée contre les dommages importants. Cependant, si les élévateurs à godets et les transporteurs ne sont pas pourvus d'un système d'évents adéquat, les cellules et les silos sont également menacés.

Parce que les élévateurs sont souvent construits en hauteur, les produits enflammés qui s'échappent des évents des étages supérieurs peuvent, selon le vent, retomber sur de grandes distances qui, à l'horizontale, sont au moins égales à la hauteur du bâtiment. Ces faits se rapportent aussi aux couvercles des évents qui peuvent bouger et se dégager de l'ouverture. Les bâtiments habités, y compris les salles de commande, doivent de préférence être situés à l'extérieur de la zone de retombée. Si cela est impossible, on devra peut-être solidifier les bâtiments, particulièrement les toitures.

Une explosion dans un élévateur à grains, même bien pourvu d'évents, peut entraîner un incendie prolongé susceptible d'être très grave selon l'importance de l'explosion qui l'a provoqué. Seule une équipe formée à cet effet peut lutter contre un incendie de cette envergure; elle doit également pouvoir se protéger contre la fumée et les vapeurs. Le personnel non formé devrait s'abstenir de participer aux opérations.

F. Incendies de poussière

Contrairement aux explosions de poussière, on distingue deux types de combustion dans les incendies de poussière - la combustion vive et la combustion lente. Les caractéristiques des poussières, l'importance des amas et les conditions d'aération déterminent le type de combustion. La vitesse de dégagement de la chaleur risque d'être supérieure dans une combustion vive. En présence d'une source d'inflammation opportune, d'une quantité suffisante de poussières favorablement réparties et d'une aération suffisante, les couches de poussière peuvent s'enflammer rapidement. On ne peut pas prédire avec justesse si un type particulier de poussière présente un risque d'incendie avec combustion vive; c'est pourquoi on cherche à déterminer cette possibilité par des essais. On dispose de peu d'information sur les vitesses de combustion des couches de poussière et jusqu'à ce qu'on ait élaboré une théorie sur la propagation de la flamme dans ces couches, on doit réaliser des expériences concrètes pour recueillir des renseignements à ce sujet. Toutefois, les sources d'inflammation des incendies de poussière sont les mêmes que pour les explosions, et les précautions à prendre sont similaires.

On distingue deux types de combustion lente. Dans un premier cas, la combustion se propage sur la surface de l'accumulation de poussière ou, si elle est peu abondante, elle gagne presque le tout. Le deuxième type consiste en une inflammation à l'intérieur de l'accumulation qui, par combustion lente, se propage surtout vers le haut pour finalement atteindre la surface. La combustion se propage alors dans la surface de la même façon que dans le premier cas. Une combustion qui se propage dans l'accumulation provient généralement d'une source d'inflammation enfouie ou de l'inflammation d'une surface chauffée. On dispose de certains renseignements sur les vitesses de combustion lente, les effets

de la circulation d'air et du passage à la combustion vive (Palmer 1973).

Il n'existe pas de détecteurs d'incendie conçus spécialement pour détecter les incendies de poussière. Lorsque les poussières brûlent par combustion vive, il y a dégagement de chaleur, de lumière et de fumée. Certains détecteurs sont sensibles à ces dégagements, mais les poussières qui pénètrent dans le détecteur peuvent créer des interférences et sonner de fausses alarmes.

Un système d'extincteurs automatiques permet à la fois de détecter et de combattre l'incendie. Ces extincteurs sont efficaces dans la mesure où la chaleur qui se dégage est suffisamment élevée pour les déclencher. Dans ce cas, c'est que la poussière brûle par combustion vive et que les têtes d'extincteurs sont directement à la portée des produits de combustion.

Lorsque la poussière brûle par combustion lente, la chaleur aussi se dégage lentement. La quantité de fumée dépend du genre de poussière et peut être très difficile de détecter l'incendie avec certitude.

Les systèmes de détection d'incendie ne possèdent pas une vitesse de réaction assez rapide pour signaler les explosions. De plus l'explosion peut les mettre hors d'usage, et les extincteurs ne pourront plus combattre l'incendie.

On peut éteindre les incendies de poussière, soit en laissant la poussière brûler au complet, soit en utilisant des agents extincteurs ou en traitant les amas de poussière de façon à éliminer l'oxygène. Quelle que soit la méthode utilisée, on doit éviter le plus possible de déplacer la poussière qui formerait un nuage, en raison des substances combustibles qui risquent de causer une explosion.

On peut laisser la flamme consumer les petites accumulations de poussière, mais en général cette méthode n'est pas recommandée. Si on y a recours, une surveillance attentive et continue est absolument nécessaire afin de détecter tout changement dans la combustion. Des courants d'air subits, la combustion de poussière sous la surface et les défaillances des charpentes sous l'action de la chaleur peuvent occasionner ces changements.

La méthode habituelle est d'éteindre le feu. Le choix du moyen le plus approprié dépend de la quantité et du type de poussière, de même que du matériel à proximité. L'eau est le moyen le plus utilisé pour les grains; on doit employer un pulvérisateur à faible pression et non un jet à forte pression. L'eau, lancée à forte pression, pourrait disperser la poussière et risquer de déclencher une explosion. Si la couche de poussière a un mètre ou plus d'épaisseur, l'eau pulvérisée ne pénétrera peut-être pas la masse de poussière. On ne doit pas remuer vivement la poussière, mais l'enlever doucement à la pelle tout en continuant de pulvériser; on peut aussi utiliser un agent mouillant.

Parce qu'on doit pulvériser l'eau doucement et s'assurer qu'elle pénètre dans le tas de poussière, l'extinction des feux avec l'eau risque de prendre du temps. Les mousses extinctrices, les poudres ou les produits halogénés sont d'usage limité dans ce cas.

Si l'on évite de déplacer la poussière, on peut utiliser des gaz ou des gaz liquides comme agents extincteurs. Le principe de fonctionnement de ces gaz est de chasser l'air; par conséquent, pour être efficaces, ils doivent demeurer assez longtemps afin de permettre à la poussière de refroidir suffisamment et prévenir ainsi une réinflammation lorsqu'elle sera à nouveau exposée à l'air. Ces agents se révèlent donc particulièrement efficaces pour les poussières contenues dans des endroits relativement étanches au gaz, les cellules de stockage ou les silos, par exemple. Ces agents ont l'avantage de pouvoir pénétrer assez facilement dans les poussières; on peut donc les utiliser pour combattre les feux dans des compartiments de grandes dimensions. Toutefois ces derniers étant bien isolés, le refroidissement naturel de la poussière se fait très lentement. Afin d'assurer l'extinction complète de l'incendie, le gaz doit rester présent pour de longues périodes allant de quelques jours à quelques semaines. Le gaz liquéfié doit être introduit dans la poussière au moyen de tuyaux afin que l'effet de refroidissement se fasse sentir. Les gaz liquides sont généralement des agents extincteurs efficaces, mais les opérateurs doivent parfois s'approcher du feu pour mettre le système en place.

On devra chercher à perfectionner les méthodes d'utilisation des agents extincteurs dans les grains, en tenant particulièrement compte des quantités importantes des produits susceptibles de brûler et des problèmes d'accessibilité.

2.10 ÉTATS-UNIS

Aux États-Unis, on compte environ 15 000 installations pour le stockage et la manutention des grains, où sont employés 225 000 travailleurs. À peu près 10 000 installations sont des silos à grains, les autres sont des fabriques de provendes, des minoteries ou autres usines de transformation des grains. Parmi les 10 000 silos à grains, 80 environ sont des silos portuaires (exportation) dont plus de la moitié sont en marche toute l'année. Les autres élévateurs à grains - les élévateurs régionaux - fonctionnent sur une base saisonnière avec des effectifs variables qui, pendant la saison des récoltes, comprennent un grand nombre d'employés à temps partiel. Au cours de cette période, beaucoup de silos à grains fonctionnent jour et nuit.

A. Accidents

De 1938 à 1946, environ 6,7 explosions de poussière, en moyenne, se sont produites annuellement dans les silos à grains. De 1947 à 1955, la moyenne était à peu près de deux par année et elle est passée à huit de 1958 à 1975. Depuis 1976, le nombre d'explosions et d'incendies dans les silos à grains a beaucoup augmenté. Récemment, la série d'explosions et d'incendies, qui a fait plus de 60 morts et encore plus de blessés, a soulevé des préoccupations sérieuses au sujet des conditions d'hygiène et de sécurité dans cette industrie. Les explosions dans les silos à grains sont les plus fréquentes des explosions industrielles, et celles auxquelles on attribue le plus de blessés et le plus de dommages matériels. On en dénombre cinq fois plus que dans les industries de la farine et de l'amidon et 1,5 fois plus que dans les minoteries et les fabriques de provendes. Les incendies dans les silos à grains sont presque 500 fois plus nombreux que les explosions de poussières de grains. Plus de 29 000 incendies se sont produits entre 1964 et 1974, ce qui représente une moyenne de 2 900 par année. Il y a peut-être eu, en outre, beaucoup d'autres incendies qui n'ont pas été signalés. Le tableau suivant présente les données relatives aux explosions survenues dans les silos à grains et les fabriques de provendes de 1958 à 1978.

Tableau 18

Explosions survenues dans les silos à grains et les fabriques de provendes de 1958 à 1978 - États-Unis

Année	Nombre d'explosions		Morts	Blessés
	Silos à grains	Fabriques de provendes		
1958	8	2	2	27
1959	8	2	3	18
1960	8	4	4	18
1961	8	2	0	17
1962	8	1	3	51
1963	8	6	3	30
1964	2	6	3	22
1965	6	3	2	5
1966	9	5	2	22
1967	12	5	1	14
1968	9	7	12	38
1969	1	5	4	13
1970	10	0	1	14
1971	9	1	4	14
1972	2	6	7	23
1973	6	2	2	10
1974	10	5	13	37
1975	6	3	4	19
1976	18	4	22	82
1977	13	8	65	84
1978	7	5	7	47
Total	168	82	164	605

Source : Ministère de l'Agriculture des États-Unis, Prevention of Dust Explosions in Grain Elevators - An Achievable Goal, projet de rapport, Washington, avril 1979; tableau 2-1.

Les données relatives aux incendies pour la période de 1964 à 1973 se répartissent comme suit :

Tableau 19

Incendies et pertes matérielles - États-Unis

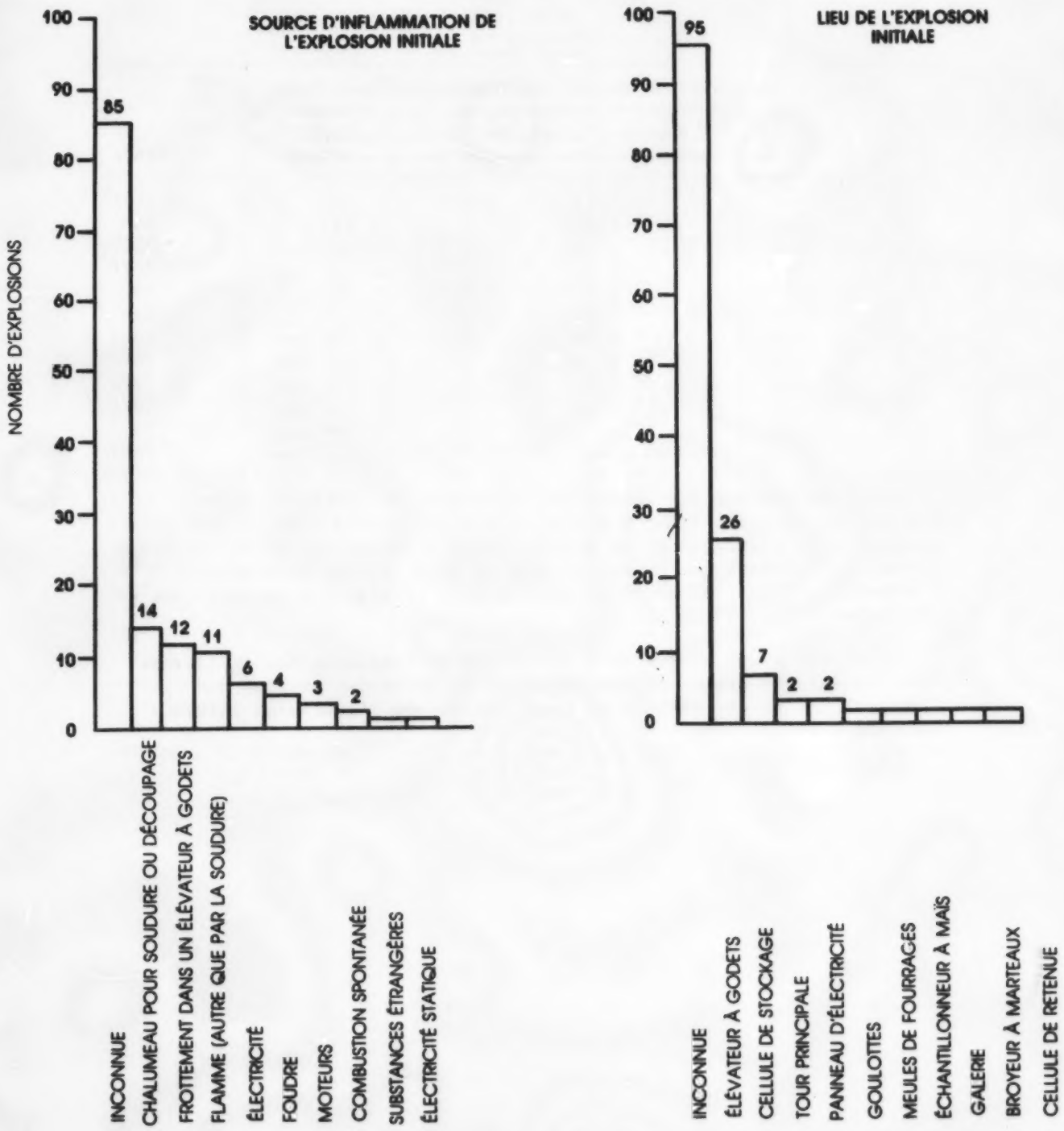
Année	Nombre d'incendies	Pertes matérielles
		$
1964	2 000	29 500 000
1965	1 900	22 000 000
1966	2 000	23 000 000
1967	3 000	26 200 000
1968	5 300	26 600 000
1969	4 700	26 700 000
1970	3 000	47 800 000
1971	3 100	49 800 000
1972	2 400	42 800 000
1973	1 800	39 300 000

On observe une diminution importante du nombre annuel d'incendies dans les silos à grains depuis les années 1968 et 1969 pour lesquelles on a enregistré un nombre record d'incendies. Cette réduction dépend probablement de l'usage de plus en plus répandu de matériel d'incendie tel que les systèmes de détection et d'alarme automatiques et les extincteurs.

Les graphiques 4 et 5 illustrent la fréquence des explosions dans les silos à grains et les fabriques de provendes de même que l'endroit - s'il est connu - où s'est déclenchée l'explosion initiale (de 1958 à 1975).

GRAPHIQUE 4

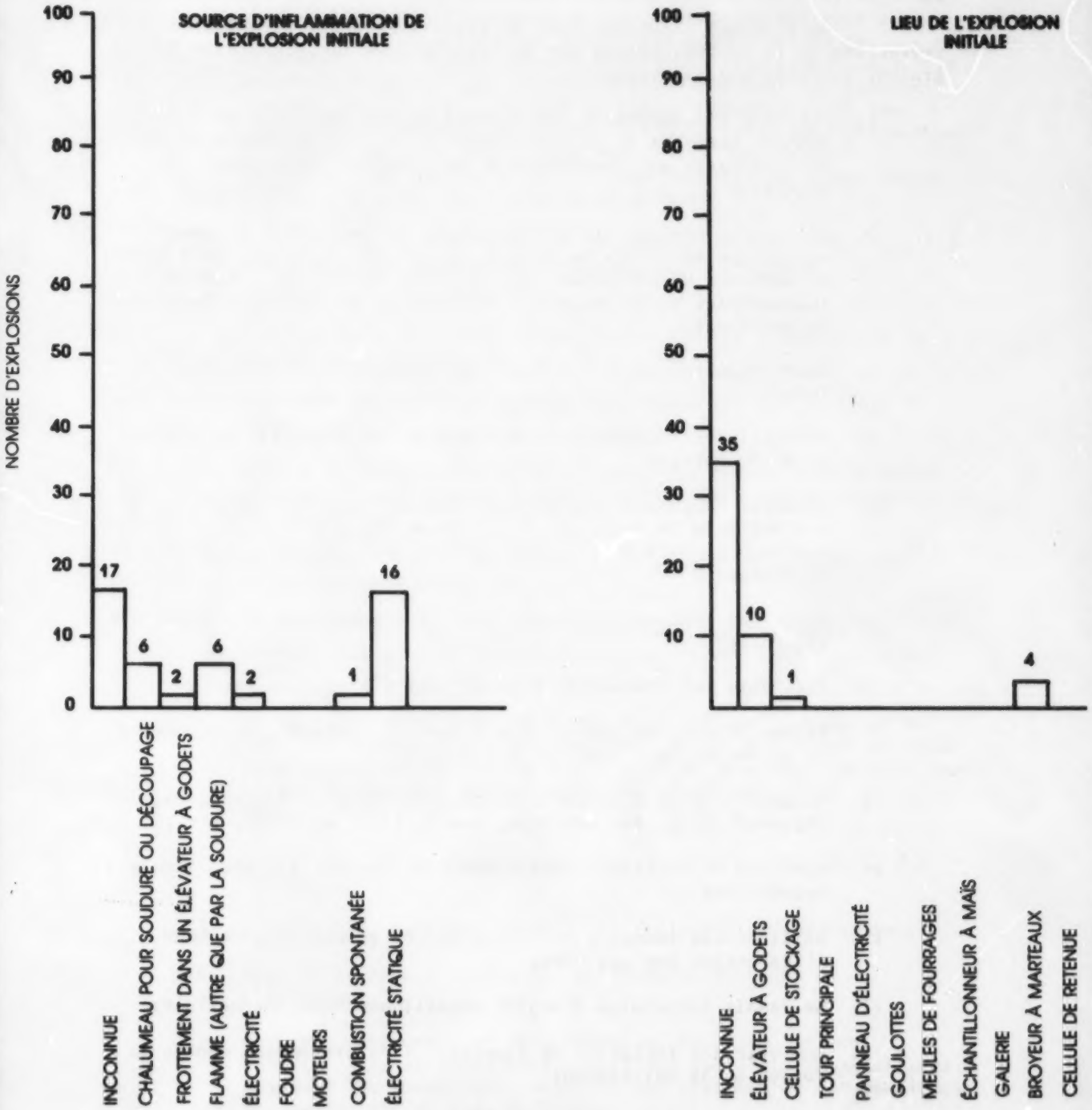
EXPLOSIONS DE POUSSIÈRES DANS LES SILOS À GRAINS (ÉTATS-UNIS)



Causes des explosions de poussières dans les silos à grains aux États-Unis et lieu de l'explosion initiale (1958 à 1975); (tiré du tableau 2 du rapport susmentionné).

GRAPHIQUE 5

EXPLOSIONS DE POUSSIÈRES DANS LES FABRIQUES DE PROVENDE (ÉTATS-UNIS)



Causes des explosions de poussières dans les fabriques de provende et lieu de l'explosion initiale (1958 à 1973); (tiré du tableau 3 du rapport susmentionné).

B. Prévention et neutralisation des explosions dans les élévateurs à grains

On a répété plusieurs fois un grand nombre des méthodes de prévention et de neutralisation des explosions dans les élévateurs à grains. En voici quelques-unes :

1. prévenir l'échappement des poussières des appareils en les rendant étanches et en installant un système permanent de dépoussiérage qui fonctionne à une pression légèrement négative;

2. réduire au minimum les accumulations de poussières en pourvoyant les bâtiments de murs et de planchers lisses, du minimum de surfaces horizontales, en inclinant de 60° les surfaces inacessibles et en disposant le matériel de manière à faciliter le nettoyage;

3. faire rigoureusement observer les règlements qui défendent de fumer;

4. surveiller et contrôler attentivement les activités de soudage et de découpage;

5. utiliser uniquement des moteurs électriques, des disjoncteurs, des boîtiers de fusibles, des fils et des appareils d'éclairage conforme au code de l'électricité du NFPA, classe II, normes de la catégorie " G ";

6. poser les séparateurs magnétiques et pneumatiques à l'avant des appareils;

7. interdire les chaussures à clous dans l'installation;

8. éviter d'utiliser les enduits à base d'aluminium, de magnésium ou de métal léger dans les élévateurs;

9. assurer la mise à la terre de tous les moteurs électriques, des dépoussiéreurs, des conduits, des cellules en métal, etc.;

10. nettoyer et vérifier régulièrement et souvent les séparateurs magnétiques;

11. utiliser des lampes à batteries plutôt qu'électriques pour l'inspection des cellules;

12. ne jamais introduire d'objets métalliques dans les cellules;

13. pourvoir les bâtiments de dispositifs de protection contre la foudre et la surtension;

14. garder la tension appropriée sur la courroie des élévateurs à godets; utiliser des dispositifs anti-marche arrière; vérifier régulièrement et fréquemment si des boulons ou des godets sont inclinés ou désserrés; éviter les accumulations de poussière et de grains sur les traverses situées sous la poulie de tête; s'assurer que la gaine d'élévateur soit suffisamment dégagée des poulies, courroie et godets; pourvoir tous les couloirs d'élévateurs de dispositifs mécaniques automatiques ou électro-mécaniques pour couper toutes les commandes et déclencher une alarme si la courroie ralentit ou arrête alors que la poulie de tête continue de tourner;

15. mettre en place des évents de décompression appropriés dans les bâtiments, les élévateurs à godets, les cellules et les galeries des transporteurs;

16. renseigner les employés au sujet des risques d'explosions de poussière et des mesures de prévention;

17. graisser régulièrement les paliers selon les instructions du manufacturier;

18. voir à ce que les commandes de courroies soient bien alignées et entretenues; éviter si possible les commandes de courroies en forme de V;

19. remplir une formule de rapport d'inspection afin d'assurer un entretien régulier;

20. n'utiliser que des produits chimiques - les fumigants par exemple - approuvés par les laboratoires des assureurs (Underwriters' Laboratories);

21. utiliser un système de chauffage à eau chaude ou à vapeur de faible pression; placer la chaudière ou le générateur de vapeur dans une salle isolée construite en matériaux résistants au feu et qui ne contient pas de poussière ou de substances combustibles;

22. isoler les pièces dangereuses avec une vis appropriée ou des bobines rotatives;

23. si possible, utiliser du matériel résistant aux explosions;

24. espacer le plus possible les différentes sections de l'élévateur;

25. nettoyer rapidement et régulièrement les accumulations accidentelles de poussière; n'utiliser pas d'air comprimé pour éliminer les poussières; employer des systèmes de dépoussiérage par aspiration au lieu de balais.

Il est difficile de déterminer à quel point ces recommandations sont suivies dans les silos à grains. Il serait utile de réaliser une enquête sur les silos à grains en Iowa et dans les États voisins et de tenter de vérifier comment les recommandations ont été suivies dans les élévateurs où se sont produits des explosions de poussière au cours des vingt dernières années. Il serait préférable que l'industrie elle-même entreprenne cette étude, peut-être par l'intermédiaire des associations de grains et fourrages afin d'assurer une meilleure collaboration et pour éviter que l'enquête soit perçue de manière hostile - attitude fort répandue de nos jours.

En 1972, une enquête a été effectuée dans 175 silos à grains commerciaux (échantillon statistique des 7979 silos américains), comprenant 104 silos régionaux (capacité totale de stockage : 101 903 000 boisseaux), 48 silos continentaux (336 904 000 boisseaux) et 23 silos portuaires (118 547 000 boisseaux). L'enquête a révélé que dans 28 p. cent de ces silos on avait installé des systèmes de dépoussiérage alors que l'année précédente ce chiffre était de 20 p. cent. On ne peut évaluer si cette augmentation est réelle, car 15 p. cent de ceux qui ont répondu à l'enquête en 1971 ne l'ont pas fait en 1972, surtout parmi les silos régionaux. C'est d'ailleurs pour cette catégorie de silos que l'on retrouve le moins de systèmes de dépoussiérage. En 1972, on rapporte que 15,4 p. cent des silos régionaux, 37,5 p. cent des silos continentaux et 65,2 des silos portuaires en possédaient. On prévoyait poser des systèmes de dépoussiérage dans 20 p. cent de tous les silos, c'est-à-dire dans 12,5 p. cent des silos régionaux, 39,6 p. cent des silos continentaux et 13,0 p. cent des silos portuaires. En 1972, on ne prévoyait pas d'installation dans 52 p. cent de tous les silos où on a répondu au questionnaire, c'est-à-dire dans 72,1 p. cent des silos régionaux, 22,9 p. cent des silos continentaux et 21,9 p. cent des silos portuaires. Des articles parus dans des revues techniques et industrielles qualifient le dépoussiérage de méthode de premier ordre pour éviter les incendies et les explosions et mentionnent les conditions à respecter afin que le système soit efficace.

Les écritaux qui interdisent de fumer sont souvent affichés dans les silos à grains, mais ne sont peut-être pas respectés partout de la même façon. Les compagnies d'assurance fournissent gratuitement ces écriteaux à leurs clients et vérifient en général si on les affiche.

D'après les cas récents, et relativement fréquents, d'explosions causées par des travaux de soudure et de découpage, il semble qu'on ne prenne pas suffisamment de précautions à ce sujet. Les compagnies d'assurance fournissent des brochures, des instructions et des affiches qui décrivent les dangers et les méthodes à suivre pour les éviter. Les revues industrielles ont également publié des instructions relatives à ces travaux.

De 1945 à 1970, les pannes dans l'appareillage électrique ont été, chaque année, la source principale d'incendies (et non d'explosions) dans les installations de manutention et de transformation des grains. Un cinquième seulement de ces pannes étaient dues à des ruptures de paliers dans les moteurs. Ces ruptures étaient causées par des accumulations de poussière, une surcharge dans les fusibles, un manque d'entretien des régulateurs ou des surtensions.

Bien que les observations suivantes ne se rapportent pas directement aux sources d'explosions de poussières, elles suggèrent cependant qu'on s'attarde davantage à ce problème. Les inspecteurs d'hygiène et de sécurité au travail de l'Iowa rapportent souvent la présence de câblage, de moteurs, d'appareils d'éclairage, de boîtes de fusibles, etc., non conformes aux normes.

L'usage de séparateurs magnétiques semble assez répandu, mais le manque d'entretien cause parfois certains problèmes. On a aussi rapporté d'importantes accumulations métalliques dans ces séparateurs pour plusieurs explosions de poussière au cours des vingt dernières années.

On peut protéger un dispositif contre les surcharges électriques en utilisant des fusibles ou des disjoncteurs appropriés; cette mesure n'est cependant pas très efficace contre les surtensions. En 1970, on a observé que le National Electric Code n'accordait pas assez d'intérêt à cette question; moins de la moitié des installations de manutention et de transformation des grains étaient, à cette date, pourvues de matériel adéquat, dont le coût est peu élevé.

Il semble qu'on ne se soit pas tellement attardé à pourvoir les installations de système d'aération de sûreté. On trouve souvent de grandes fenêtres dans les galeries supérieures des transporteurs dans les cellules. On a cependant observé au cours d'une inspection, à la suite de l'explosion du 25 septembre 1975 à Lincoln dans le Nebraska, que souvent les fenêtres ne s'ouvraient pas et que beaucoup de carreaux étaient brisés. Des études ultérieures ont démontré que les vitres se sont probablement cassées sous l'effet de pressions très fortes, ce qui prouve que les fenêtres n'étaient d'aucune utilité en cas d'explosion.

La Iowa Grain and Feed Association, en collaboration avec l'université du Kansas, présente chaque année des ateliers sur les travaux dans les installations de grains et de fourrages à quatre endroits en Iowa, à l'intention des dirigeants et des employés. Le personnel de l'Université du Kansas a commencé à offrir ces ateliers dans cet État en 1963. Une partie importante de l'atelier traite des risques d'incendie et d'explosion. On y présente également des démonstrations d'explosions de poussière, des films et des diapositives, et on y distribue la brochure intitulée Prevention of Fires and Dust Explosions in Feed Mills, Flour Mills, and Grain Elevators.

On peut se procurer les diapositives et les enregistrements en s'adressant à l'Université du Kansas. Les compagnies d'assurance commanditent l'information offerte à leurs clients et fournissent, sur demande, le matériel et les haut-parleurs. La Governor's Safety Conference en Iowa consacre chaque année une journée aux questions de sécurité dans les silos à grains et les fabriques de provendes. De plus, l'Iowa Occupational Health and Welfare Association (IOSHA) commandite des séminaires sur ce sujet à cinq endroits dans cet État et offrent des séances d'information sur la mise à jour des règlements sécurité de L'IOSHA.

La direction est responsable de la formation du personnel en matière de sécurité; cette question revêt une importance particulière en

raison du grand nombre d'employés temporaires inexpérimentés. Les dirigeants des établissements pourraient facilement présenter les mêmes démonstrations d'explosions de poussière que le personnel de l'Université du Kansas, dont le matériel est peu coûteux, ce qui contribuerait à convaincre les travailleurs - surtout les plus jeunes - que les poussières de grains peuvent exploser.

On semble négliger souvent l'entretien général, principalement au cours des périodes de travail les plus intenses, alors que c'est là qu'il est le plus nécessaire. Jim Peterson, ingénieur en sécurité pour la Iowa Grain and Feed Insurance Company, remarque que les paliers munis de système d'alarme en cas d'échauffement anormal doivent être encore mieux entretenus que les autres. Les instructions d'entretien des paliers ont été mentionnées dans les publications industrielles. En 1970, la Peavey Company, une compagnie de grains inter-État, posait dans tous ses élévateurs " d'importance " des systèmes d'alarme d'incendie dans lesquels les moteurs ou paliers surchauffés déclenchaient une alarme extérieure. À peu près à la même époque, on a installé des systèmes de détection d'incendie et d'extincteurs à poudre dans deux silos coopératifs du Dakota-Nord. On a placé des détecteurs dans tous les moteurs électriques et à tous les endroits où se trouvent des paliers. En plus d'une sirène à l'extérieur et d'un avertisseur à l'intérieur, on a placer une boîte indicatrice dans le bureau principal pour signaler l'endroit précis du problème. Les réductions obtenues sur les primes d'assurance grâce à ce système sont censées en couvrir les coûts en sept ou huit ans.

Depuis le 1er janvier 1973, par suite d'une campagne menée par la Farmers Elevator Mutual Insurance Company of Des Moines, Iowa, on a installé des systèmes d'extincteurs à poudre et des systèmes d'alarme automatiques dans environ 200 silos assurés par cette compagnie.

En 1967, on a observé que les améliorations les plus importantes apportées dans les élévateurs à grains et les fabriques de provendes comprenaient les mesures de sécurité contre la surtension, les alarmes automatiques et les systèmes d'extincteurs à poudre dans les tours principales. Afin de prévenir l'étranglement et la surcharge des moteurs, on a installé des systèmes de commande asservis pour la machinerie, des ralais de déclenchement instantané afin de régler automatiquement le débit du matériel et des régulateurs de niveau dans les cellules.

C. Autres mesures de sécurité contre les explosions

a) Atmosphères inertes

Un représentant de l'industrie a tenté, en 1960, d'évaluer les débouchés des systèmes à atmosphère inerte pour le stockage des grains et des semences. Cette méthode comporte quatre avantages :

(1) la diminution des pertes de grains dues à l'oxydation et aux bactéries aérobies;

(2) la régulation de la germination;

(3) l'élimination des insectes, rongeurs et autres parasites; et

(4) la réduction des risques d'incendie.

Plusieurs compagnies de grain importantes ont répondu que (1) le principal avantage du stockage en atmosphère inerte réside dans l'élimination des insectes, rongeurs et autres parasites, car la régulation des pertes de grains et de leur germination s'effectue proprement en réduisant le degré d'humidité des grains; (2) que beaucoup d'expériences furent tentées, mais les résultats n'ont pas été concluants; et (3) que les coûts sont inabordables en raison des difficultés à obtenir un stockage hermétique. En effet, le béton est un matériau poreux qui permet des échanges gazeux à travers les murs; les bâtiments à revêtement métallique ne peuvent être pressurisés et les réservoirs existants en acier possèdent des ouvertures pour l'aération de même que pour le remplissage et le déchargement des grains. Il serait donc trop coûteux de réaliser ces transformations. On n'a pas pu obtenir plus d'informations.

b) Extinction des explosions

Il existe sur le marché des systèmes d'extinction pouvant étouffer une explosion quelques millisecondes après l'inflammation. On les utilise beaucoup en Europe dans les amidonneries et on en a installés dans quelques établissements semblables aux États-Unis.

c) Composés de chlorure de polyvinyle

On expérimente actuellement l'usage de chlorure de polyvinyle (CPV) dans les courroies, d'élévateurs à godets afin de diminuer l'inflammabilité de la courroie, généralement faite d'une fibre enduite de caoutchouc. Cependant des essais réalisés par le Bureau of Mines révèlent que l'inflammabilité des courroies traitées au CPV est comparable à celle du caoutchouc. On examine également la possibilité d'utiliser du CPV dans les godets, afin d'éliminer les étincelles de frottement issues du contact entre les godets métalliques et les couloirs de l'élévateur. Toutefois le CPV comporte peut-être plus de risques pour le personnel et les bâtiments. Soumis à une température de 200° C, le CPV se décompose et libère une grande quantité de chlorure d'hydrogène (HCl), gaz toxique et corrosif. En moins de trois jours, on peut

observer des traces de corrosion sur les appareils métalliques et les pièces de charpente. Le HCl se combine aussi avec la chaux du plâtre et du béton pour former du $CaCl_2$. Ce dernier est un produit corrosif qui s'infiltre dans les murs et s'attaque aux pièces de charpente métalliques prises dans le béton. On a rapporté un cas où les dommages d'abord évalués à 2 000 $ ont atteint 4 millions lorsqu'on a découvert ces détériorations cachées.

d) Dépoussiérage

Le confinement total des poussières dans les transporteurs et les réservoirs de stockage constitue une des méthodes les plus répandues pour réduire les risques d'explosions. À cette fin, on soumet les élévateurs à godets à de légères pressions négatives et on installe des systèmes pour aspirer les poussières en suspension au-dessus des transporteurs à courroies qui ne sont pas enfermés, particulièrement aux points de transbordement. Ces méthodes sont peu efficaces et la poussière risque de continuer à s'accumuler sur les murs, les plafonds et le matériel. Une compagnie importante de grains inter-État a adopté une autre méthode de dépoussiérage. Elle a conçu et incorporé à ses installations récentes (fin des années 1960 et début des années 1970) un système de transporteurs fermés et étanches à la poussière. Le bâtiment est soumis à une faible pression négative et on utilise un ventilateur d'aération de 3 Cv pour empêcher que la poussière ne s'échappe des transporteurs en cas de fuite accidentelle. En six années de fonctionnement, aucun nettoyage général n'a été nécessaire : un chiffon noir passé sur les murs l'a prouvé. De plus, l'inspecteur municipal et la compagnie d'assurance ont approuvé l'usage de fils et d'appareillage électriques ordinaires. L'utilisation de fils à découvert, de boîtes de fusibles, interrupteurs, etc., normaux et de lampes à incandescence a beaucoup réduit les coûts de construction. Le système de transporteurs à haute capacité comprend également d'autres avantages, notamment des coûts initiaux faibles, l'élimination totale du matériel courant de dépoussiérage, une économie d'énergie et d'espace, pas d'éparpillement de poussière, un fonctionnement se prêtant mieux aux commandes à distance et la réduction de l'ensemble des frais de construction. Les installations plus récentes de cette compagnie fonctionnent à partir de commande à distance logées dans des salles aménagées à cette fin. La transformation des bâtiments déjà existants en vue de faciliter la mise en place de ces innovations n'est peut-être pas toujours possible; ces méthodes peuvent toutefois se révéler avantageuses pour les nouveaux silos.

e) Mise en vigueur des mesures de prévention

Les compagnies d'assurance, en accordant des réductions de primes, favorisent la mise en oeuvre de mesures de prévention contre les explosions; cette attitude stimule les propriétaires de silos à grains à prendre les précautions appropriées.

Les codes se rapportant à l'industrie de la manutention des grains furent parmi les premiers à être rédigés par la NFPA et datent des années 1920. Les codes actuels de la NFPA comprennent des normes relatives à la prévention des incendies et des explosions de poussière

dans les amidonneries, les silos à grains, les fabriques de provendes, les usines de sucre et de cacao, les usines de mouture d'épices, et les usines de transformation des aliments. Parmi ces codes, seuls ceux qui se rapportent aux usines de sucre et de cacao et aux usines d'épices n'ont pas été incorporés à ceux de l'OSHA. Le National Institute of Safety and Health, le ministère de la Santé, de l'Éducation et du Bien-être des Etats-Unis font mention dans le Health and Safety Guidelines for Grain Mills des règlements suivants relatifs aux risques d'explosions de poussière :

(1) afficher et faire observer les règlements qui interdisent de fumer;

(2) voir au bon entretien général;

(3) utiliser des chaussures et des outils qui ne sont pas susceptibles de produire des étincelles;

(4) poser des douilles et des interrupteurs à l'épreuve des explosions;

(5) fournir des extincteurs d'incendie appropriés;

(6) interdire les travaux de soudure et de découpage aux endroits où se trouvent des poussières combustibles; et

(7) énoncer les instructions relatives aux travaux de soudure et de découpage. Toutefois, les conditions ou les pratiques dangereuses qui ne sont pas mentionnées explicitement dans les normes adoptées par l'OSHA sont également prévues par la disposition relative aux responsabilités générales de la Williams - Steiger Act (1970) - par laquelle furent institutées l'OSHA et la NIOSH. En Iowa, le Iowa Bureau of Labour est responsable de l'application des règlements de l'OSHA d'après la loi qui a créé la Iowa Occupational Safety and Health Administration (IOSHA).

Les règlements suivants sont considérés comme essentiels dans les normes de la NFPA sur la prévention des incendies et des explosions de poussière dans les silos à grains et les installations de manutention en vrac; ces normes n'ont cependant pas été adoptées officiellement par l'OSHA.

1. Utiliser des matériaux de construction incombustibles ou résistants au feu.

2. Pourvoir les murs coupe-feu de portes qui se ferment automatiquement.

3. Ne pas pratiquer d'ouvertures entre les cellules (les instructions sur évents des cellules sont énumérées).

4. Utiliser des évents de décompression conformes à la norme n° 68 (NFPA) dans les couloirs d'élévateurs, les aspirateurs et les

conduits de dépoussiérage et les transporteurs pneumatiques.

5. Les couloirs d'élévateurs doivent être en matériaux incombustibles, étanches à la poussière, pourvus d'ouvertures pour l'inspection des échantillons et l'entretien et mus par des moteurs et des commandes indépendants de dimension optimale.

6. Brancher tous les appareils à la source d'électricité en circuit indépendant et ne pas les laisser fonctionner à vide.

7. Placer les séparateurs magnétiques, pneumatiques ou autres à l'avant de la machinerie qui sert à la manutention de grains afin d'éliminer toutes les substances étrangères de granulométrie supérieure à celle des grains.

8. Les commandes par courroie doivent posséder une force de service suffisante pour arrêter la force motrice sans glissement.

9. Les transporteurs à vis doivent être totalement protégés.

10. Utiliser des roulements à rouleaux ou à billes antifrottements. Des conduits de lubrification doivent être fournis avec les couvercles protecteurs contre la poussière.

11. Les goulottes doivent être étanches aux poussières.

12. Le code comprend une longue liste de règlements relatifs à l'installation, au fonctionnement et à l'entretien des séchoirs.

13. Installer un système de dépoussiérage conforme aux normes n° 91 et n° 66 (NFPA) à toutes les sources de poussière, y compris les robinets de citerne, les balances automatiques, les trémies de pesée, les chargeurs et déchargeurs à courroie, les déclencheurs, les têtes de distributeurs, à l'extrémité des courroies et sur les nettoyeurs, les cribleurs, etc., s'ils ne sont pas étanches à la poussière.

14. Ôter immédiatement les poussières statiques, les éclisses et les obstructions.

15. Le matériel électrique doit être conforme à la norme n° 70 (NFPA), paragraphes 500 à 502.

16. Les systèmes de chauffage doivent être approuvés pour des endroits de catégorie II.

17. Interdire de fumer.

18. S'assurer de la mise à la terre de la machinerie et des transporteurs conformément à la norme n° 77 (NFPA).

19. Les instructions relatives aux travaux de soudage et de découpage doivent comprendre une autorisation écrite; arrêter la machinerie et toutes les opérations qui produisent de la poussière avant, pendant et après ces travaux jusqu'à l'inspection finale; nettoyer et laver les planchers, les alentours et l'espace sous l'endroit où l'on a fait de la soudure; fermer hermétiquement les ouvertures dans les planchers et les murs; inspecter et vérifier l'endroit en question pendant un certain temps après les travaux.

20. Ne pas se servir d'outils qui fonctionnent à l'électricité dans les endroits poussiéreux.

RECOMMANDATIONS

Afin de mieux juger l'ampleur du problème des incendies et des explosions de poussière au sein de l'industrie canadienne du grain, il semble essentiel de mettre sur pied un système par lequel on pourra rassembler tous les détails concernant ces accidents, quelle qu'en soit la gravité. À cette fin, tous les établissements de l'industrie devront rapporter les événements à un organisme central chargé de regrouper les données.

Actuellement divers organismes répartis dans différentes régions recueillent des informations qui demeurent fragmentaires. Par conséquent, la gravité de la situation se trouve minimisée. Un organisme central pourrait assembler un plus grand nombre de faits permettant de produire des statistiques plus impressionnantes, ce qui contribuerait à sensibiliser les travailleurs de cette industrie au problème et les convaincre de l'importance des mesures de prévention.

Les données actuelles sont effectivement peu représentatives, en raison du faible nombre d'accidents analysés de part et d'autres. Un regroupement des faits éliminerait ce désavantage et permettrait une évaluation plus exacte des causes et autres paramètres des accidents.

Il est donc fortement recommandé de confier à un organisme central la responsabilité et le droit de regrouper, sous une forme normalisée, les données sur les incendies et les explosions de poussière dans l'industrie du grain.

RÉFÉRENCES

Canadian Grain Handling Association, Fire and Explosion, Task Force Report No. 1, 1979.

Commission canadienne des grains, Les silos à grains au Canada, 1977/1978.

de Gooijer H. et al., " Literature Investigation into the Dust Explosion Danger in Industries Storing and Processing Cereals and Flour ", Technological Laboratory, TNO, Netherlands, Oct. 1975.

Finn, W.D., Report of the Commission of Inquiry on Health and Safety in Grain Elevators, Oct. 1976.

Grain Elevator and Processing Society, Proceedings, International Symposium on Grain Dust Explosions, Oct. 4-6, 1977.

Palmer, K.N., Dust Explosions and Fires, Chapman and Hall, London, 1973.

Travail Canada, Les accidents du travail et les maladies professionnelles au Canada, Ottawa, 1979.

U.S. Government, Printing Office A Staff Report on the Oversight of the Occupational Safety and Health Administration With Respect to Grain Elevator Fires and Explosions, Washington, 1980.

Verkade, M. and Chiotti, P., A Bibliography of Topics Related to the Study of Grain-Dust Fire and Explosion with Key Word Indexes, Ames, Iowa Energy and Mineral Resources Research Institute, May 1978.